



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Géssica Kelli Silva de Oliveira

**Aplicação da abordagem *Lean Six Sigma* para
reduzir devolução de produtos com *blowout***

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor José Dinis de Araújo Carvalho

Professor Doutor José Carlos Reston Filho

Outubro de 2017

DECLARAÇÃO

Nome: Gessica Kelli Silva de Oliveira

Endereço eletrónico: gessica.ksdo@gmail.com Telefone: +55 92 994909444

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: FM914628

Título da dissertação: Aplicação da abordagem *Lean Six Sigma* para reduzir devoluções de produto com *blowout*

Orientadores:

Professor Doutor José Dinis de Araújo Carvalho

Professor Doutor José Carlos Reston Filho

Ano de conclusão: 2017

Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Às Instituições da Universidade do Minho e Faculdades IDAAM que através da sua parceira possibilitaram a troca de conhecimento e o engrandecimento com a construção desse projeto.

Aos orientadores, José Dinis de Araújo Carvalho e José Carlos Reston Filho que auxiliaram no processo de aprendizagem e com o compartilhamento de seus conhecimentos, ajudaram-me a trilhar o caminho para chegar até o final deste grande desafio.

Os colegas de profissão que abraçaram o projeto e se disponibilizaram dia-a-dia para a sua realização.

Aos meus pais, irmão e sobrinho que estiveram comigo em todos os momentos me impulsionando a continuar, mesmo em momentos difíceis, sendo eles os elementos principais de me manter empenhada e firme para chegar à conclusão desta etapa.

Meus familiares e amigos pelos incentivos e parceria ao longo do tempo, também essenciais na minha vida e a Deus sobre todas as coisas.

RESUMO

Este trabalho é focado no problema de devoluções de refrigerantes do mercado por rompimento involuntário do lacre (denominado *blowout*) em embalagens metálicas. Este rompimento deixa o líquido em seu interior exposto ao ambiente, gerando perdas, devoluções de produtos, exposição negativa das marcas, insatisfação dos clientes e altos prejuízos. Para identificar as causas e eliminá-las, foi utilizada a metodologia do *Lean Six Sigma* através do ciclo do DMAIC em associação com ferramentas do *Lean manufacturing*, na qual cada etapa foram levantados os principais pontos do processo em que pudessem ser responsáveis por gerar a corrosão de tampas e, conseqüentemente o aparecimento do *blowout* e a partir desses, permitiu estabelecer relação de causa raiz e propostas de melhoria. O principal ponto de controle foi observado no *warmer* (equipamento de aquecimento), como ajuste do pH da água dos tanques para valores próximos do neutro, redução do tempo de permanência do produto no *warmer* e limpeza e organização do posto de trabalho regidos pelo 5S, além de melhorias como aumento no número de secadores de tampa. O resultado obtido foi uma redução muito significativa na quantidade de produtos devolvidos, que passou de 18.215 pacotes (cada pacote contendo 12 unidades de refrigerantes) no mês de abril para 653 no mês de novembro de 2016.

Palavras-Chave: Lean Six Sigma, DMAIC, corrosão, blowout, refrigerantes.

ABSTRACT

This work is focused on the problem of returning of soft drinks from the market due to an involuntary process of stress-corrosion cracking (called blowout) on the metallic packages. This rupture leaves the liquid inside the package exposed to the environment, causing financial losses, negative brand exposure and customer dissatisfaction. To identify the causes and eliminate them, the Lean Six Sigma methodology through the DMAIC cycle alongside the Lean manufacturing tools were utilized in which each stage was raised the main points of the process, to identify the critical points that could be responsible for favoring the corrosion of the lids. It was possible, using those tools, to establish a root-cause relationship between various points and, consequently, to propose improvements. The main critical point found was the warmer, a heating equipment for the metallic packages. Measures such as pH adjustment of the water from the tanks to values nearing neutral pH and reduction of the product processing time inside the warmer were applied. Workstation cleaning and organization according to the 5S program, in addition to other improvement measures such as increase in the number of lid dryers were also effective. The results obtained showed a highly significant reduction in the quantity of returned products: from 18,215 packages (each package containing 12 refrigerant units) returned on April/2016 to only 653 in November/2016.

KEYWORDS: Lean Six Sigma, DMAIC, corrosion, blowout, soft drinks.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrônimos	XIV
1. Introdução.....	1
1.1 Motivação e relevância do trabalho	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia utilizada.....	2
1.4 Estrutura da dissertação.....	3
2. Fundamentação Teórica.....	5
2.1 <i>Lean Manufacturing</i>	5
2.2 <i>Six Sigma</i>	12
2.3 Limitações dos métodos.....	18
2.4 <i>Lean Six Sigma</i>	19
3. Descrição do Processo.....	23
3.1 Processo de corrosão: <i>blowout</i>	25
3.2 Análises de MEV e EDX	31
4. Aplicação do ciclo do DMAIC.....	33
4.1 Caracterização do processo de produção de refrigerantes	33
4.2 Etapa definir (<i>Define</i>).....	34
4.2.1 Caracterização geral do problema	34
4.2.2 Formação da equipe de trabalho.....	36
4.3 Etapa de medição (<i>Measure</i>)	37
4.3.1 Medições de cloro da água do <i>warmer</i>	40
4.3.2 Medições de pH da água do <i>warmer</i>	41
4.3.3 Medições de tempo de permanência de latas no <i>warmer</i>	42
4.4 Etapa de análise (<i>Analysis</i>)	42

4.4.1	Análise em campo	45
4.5	Etapa de melhoria (<i>Improve</i>)	51
4.6	Etapa de controle (<i>Control</i>)	53
5.	Resultados.....	55
5.1	Melhorias de 5S	59
5.2	Resultado final	62
6.	Conclusão	65
	Bibliografia	67
	Anexo I – Valores de análises de cloro diárias e média mensal	73
	Anexo II – Valores de análises de ph diárias e média mensal.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	5S e seu impacto para eliminação de resíduos	11
Figura 2:	Representação genérica do diagrama de <i>Ishikawa</i>	16
Figura 3:	Diagrama genérico para representação da Análise de Pareto	17
Figura 4:	Ciclo para associação da abordagem LSS	20
Figura 5:	Principais ferramentas e métodos utilizados em LSS	21
Figura 6:	Etapas para envase de bebidas	25
Figura 7:	Evolução do diâmetro das tampas no decorrer dos anos	27
Figura 8:	Pressão interna em bebidas <i>diet</i> e açucarada em função da temperatura	28
Figura 9:	A) Tampa com abertura do lacre para o interior da lata	29
Figura 9:	B) Lacre aberto involuntariamente para fora da tampa: <i>bolwout</i>	29
Figura 10:	A) Representação de uma lata com <i>blowout</i>	30
Figura 10:	B) Contaminação e perda de todas as latas subsequentes	30
Figura 11:	Principais Estados com devolução de produtos com <i>blowout</i>	34
Figura 12:	Devoluções de mercado com problemas de <i>blowout</i>	35
Figura 13:	Quantidade de pacotes devolvidos de janeiro a abril de 2016	36
Figura 14:	Composição da equipe multidisciplinar	36
Figura 15:	A) Representação de amostras de tampas com <i>blowout</i>	38
Figura 15:	B) Tampas sem lacre rompido	38
Figura 16:	Evidências de corrosão na superfície do metal de tampas lacradas	38
Figura 17:	Evidências de corrosão transgranular nas latas com <i>blowout</i>	39
Figura 18:	Corte transversal dos corpos de prova de tampas sem <i>blowout</i>	39
Figura 19:	Espectros de microanálises de tampas de latas sem abertura do lacre	40
Figura 20:	Kit MERCK para quantificação de cloro na água utilizada no <i>warmer</i>	41
Figura 21:	Aparelho para medição de pH	41
Figura 22:	Diagrama de <i>Ishikawa</i> com possíveis causas de <i>blowout</i> a partir do <i>Brainstorming</i>	43
Figura 23:	Tanques do <i>warmer</i> com sujidade	46
Figura 24:	Interior do <i>warmer</i> com sujidade e baixa vazão de água	47
Figura 25:	Gráfico de valores médios de cloro de janeiro a abril	47
Figura 26:	Valores médios de pH da água dos tanques	48

Figura 27:	Latas com metal escurecido e com presença de bolores	51
Figura 28:	Tampas com água residual na tampa	51
Figura 29:	Fluxograma para realização da atividade de limpeza do <i>warmer</i>	54
Figura 30:	Antes e depois limpeza dos tanques e telas de água do <i>warmer</i>	55
Figura 31:	Antes e depois da retirada dos esguichos e limpeza interna do equipamento	56
Figura 32:	Valores das concentrações médias de cloro na água	56
Figura 33:	Dados de pH de janeiro a dezembro de 2016	57
Figura 34:	Instalação de três novos pontos de secagem de tampas	59
Figura 35:	Tampas com isenção de gotículas de água	59
Figura 36:	Demarcação da zona de insumos e carrinho de transporte	60
Figura 37:	Armário de ferramentas e materiais de limpeza	61
Figura 38:	Organização da sala de lubrificação	61
Figura 39:	Identificação dos pontos de lubrificação	62
Figura 40:	Gráfico de devolução por problemas de <i>blowout</i>	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Relação entre defeitos por milhão de oportunidade, nível sigma e rendimento.	14
Tabela 2:	Principais ferramentas e metodologias aplicadas nas etapas do DMAIC	15
Tabela 3:	Plano de ação genérico do tipo 5W1H	18
Tabela 4:	Média dos valores de concentração de cloro da água por mês	41
Tabela 5:	Valores médios mensais do pH da água do <i>warmer</i>	42
Tabela 6:	Tempo total de permanência de latas no interior do <i>warmer</i>	42
Tabela 7:	Matriz de priorização utilizada estabelecer critérios de ordem de importância	44
Tabela 8:	Possíveis causas e influência da causa no problema	45
Tabela 9:	Escala operacional inicial da linha de produção de refrigerante	50
Tabela 10:	Plano de ação de melhorias 5W1H	52
Tabela 11:	Lista de atividades de 5S do <i>warmer</i>	53
Tabela 12:	Ajuste da programação de escala operacional e partida de linha	57
Tabela 13:	Tempo em produção e em espera no interior do <i>warmer</i>	58

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

Al	Alumínio
Al ₂ O ₃	Óxido de Alumina
Ca	Cálcio
CEO	Chefe executivo
Cl	Cloro
CO ₂	Dióxido de carbono
DMAIC	Definir, medir, analisar, melhorar e controlar
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidade
ECH	Enchedora
EDX	Microanálise de raios-X por dispersão de energia
ENV	Envolvedora
EPC	Empacotadora
EUA	Estados Unidos da América
GE	General Electric
HRD	Desenvolvimento de Recursos Humanos
JIT	Just in Time
K	Potássio
kPa	Quilo pascal
LSS	Lean Six Sigma
MES	Manufacturing Execution System
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
N ₂ O ₄	Tetróxido de azoto
PET	Politereftalato de Etileno
Si	Silício
SMED	Single Minute Exchange of Die
TPS	Toyota Production System
VSM	Value Stream Mapping

1. INTRODUÇÃO

Os processos industriais em geral têm passado por diversas mudanças ao longo da história, desde a Revolução Industrial onde as máquinas tornaram-se dominantes sobre o trabalho manual até passar pela inovação tecnologia nos processos, os quais conferiram uma automação poderosa na obtenção de produtos em tempo recorde. No entanto, com o passar do tempo, apenas produzir já não era suficiente para as empresas se manterem competitivas no mercado era preciso otimizar tempo e recursos (Arslankaya & Atay, 2015).

Ao longo do tempo, muitas metodologias e ferramentas foram sendo desenvolvidas e/ou aprimoradas, como no caso do *Lean Six Sigma* (LSS), que reúne os pontos fortes do *Six Sigma*, principalmente com a ferramenta do ciclo do DMAIC, responsável por minimizar os efeitos de variabilidade e defeitos que implicam na qualidade do produto e as ferramentas do *Lean Manufacturing*, que tem foco direcionado para buscar minimizar os desperdícios dentro do processo produtivo agregando valor ao produto (Albliwi, Antony, & Lim, 2015).

Por conta dessas características, a metodologia do LSS é utilizada como esteio na busca para solucionar problemas com rompimento involuntário de lacre de tampas de refrigerante, chamado de *blowout*, fenômeno em que ocorre corrosão na linha de corte onde se dá a abertura dos lacres das tampas de refrigerantes.

A refrigeranteira em estudo está situada no Polo Industrial de Manaus e fabrica artigos em pacotes, contendo doze unidades cada, utilizando latas em alumínio com o volume de 350 ml e envase refrigerante nos sabores cola, *diet*, laranja, limão e guaraná e todos os tipos de bebidas vinham apresentando problemas de *blowout* para o consumidor final, uma vez que defeito não ocorre de imediato na produção, leva dias ou mesmo meses para começar a apresentar o rompimento do lacre de segurança (BCME, 2004).

1.1 Motivação e relevância do trabalho

O fato do rompimento do lacre não ser observado durante o processo de envase ou mesmo no carregamento, possivelmente por se tratar de artigos de autogiro e portanto, não havia tempo hábil para iniciar o processo de abertura involuntária, ocasionava uma deficiência na tomada de decisão de ações que pudessem corrigir o problema, resultando em três transtornos principais.

O primeiro diz respeito às devoluções em massa, já que todos os produtos apresentavam o problema. O segundo em relação à insatisfação dos clientes, que se viam sem condições de realizar suas vendas e tinham muitos problemas de organização e limpeza geral de seus estabelecimentos, pois o rompimento do lacre levava ao vazamento do líquido presente no interior da lata. Por fim, os prejuízos à unidade produtora, tanto dos gastos propriamente ditos quanto à exposição negativa em relação aos seus produtos.

Portanto, era necessária uma investigação que levasse à solução das causas fundamentais do problema e não apenas que bloqueassem os efeitos observados no mercado.

1.2 Objetivos

A proposta principal neste trabalho foi diminuir as devoluções de refrigerante do mercado que apresentavam problemas de *blowout* utilizando como espinha dorsal os fundamentos do LSS.

Além desse, outros objetivos foram traçados para buscar minimizar as falhas por *blowout*, foram eles:

- Realizar melhorias de processo através das ações levantadas nas etapas do DMAIC;
- Utilizar a metodologia do 5S como técnica para engajar a operação na manutenção e sustentabilidade dos resultados;
- Padronizar métodos desenvolvidos para equalizar o conhecimento adquirido nas etapas do trabalho com os envolvidos.

1.3 Metodologia utilizada

Conforme proposto por Saunders, Lewis e Thornhill (2007), ao se pensar em um estudo é inevitável pensar sobre o seu propósito e o caminho a seguir para alcançá-lo. O estudo realizado neste trabalho é tipo pesquisa-ação, onde a estratégia baseia-se em solucionar questões organizacionais junto com aqueles que vivenciam os problemas diariamente, através de um ciclo que se inicia com o diagnóstico do problema, planejam-se as melhorias, tomam-se as medidas necessárias e avaliam-se os seus impactos, a fim de promover mudanças no cenário ao qual estão inseridos e para estes efeitos, foi utilizado o ciclo do DMAIC do LSS.

Tenera e Pinto (2014) declaram em seus estudos que o LSS é apreciado por se tratar de uma metodologia para alavancar resultados. Os ganhos referentes à sua aplicação remetem à identificação

de defeitos, indução de suas causas fundamentais, eliminação de atividades sem valor acrescentado, juntamente com foco em melhoria contínua (K.Srinivasan, *et. al.*, 2014).

O DMAIC é a principal ferramenta do LSS, que provém do *Six Sigma* e a denominação das iniciais são: *Define, Measure, Analyse, Improve e Control*, associados à essência do pensamento enxuto do *Lean Manufacturing*.

As etapas foram aplicadas de acordo com a metodologia do ciclo do DMAIC do LSS e a descrição das funções relativas a cada uma das etapas do ciclo, em conformidade com o trabalho de Erdogan e Canatan (2015), são:

- **Define** (Definir) – etapa na qual o problema e os objetivos a serem atingidos são definidos;
- **Measure** (Medir) – esta etapa é dedicada ao levantamento de dados sobre o problema e o processo;
- **Analyse** (Analisar) – nesta é realizada a análise do processo, tendo em vista a identificação das causas prováveis, relação entre entradas e saídas e a identificação das causas raiz do problema;
- **Improve** (Melhorar) – utilizada para avaliação e emprego de soluções ótimas do processo;
- **Control** (Controlar) – empregada para estabelecer novas normas de trabalho e sistemas de controle, a fim de manter as melhorias encontradas.

1.4 Estrutura da dissertação

Os capítulos que possuem essencialmente os elementos distribuídos conforme pontuados a seguir.

No capítulo 2, encontra-se a revisão da literatura, abrangendo principalmente o surgimento e ferramentas do *Lean Manufacturing* e do *Six Sigma*, as deficiências das metodologias utilizadas de maneira isolada e vantagens da união que resultou no *Lean Six Sigma*.

O terceiro capítulo aborda o funcionamento de uma linha de envase de refrigerantes, bem como os fatores que promovem os problemas de *blowout*, em especial a corrosão das tampas ocasionada por fatores externos à embalagem e também métodos que auxiliam em seu diagnóstico, como a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Microanálises de Raios-X por Energia Dispersiva (EDX).

A metodologia do LSS utilizada foi representada no capítulo 4, neste caso, com o ciclo do DMAIC e as ferramentas utilizadas em casa fase:

- Etapa Definir (*Define*) - houve a caracterização do problema em estudo, escolha da equipe multidisciplinar para conduzir o trabalho e os objetivos a serem alcançados;

- Etapa de Medição (*Measure*) - foi realizada a análise de tampas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Microanálises de Raios- X por Dispersão de Energia (EDX), onde se constatou a presença de corrosão nas tampas e de agentes estranhos à estrutura metálica como cloro (Cl), silício (Si), enxofre (S) e potássio (K) e o monitoramentos dos pontos de dosagem de cloro, medição de pH e tempo retenção de produtos no equipamento de aquecimento;
- Etapa de Análises (*Analysis*) – em que foi realizado o emprego do *Brainstorming*, Diagrama de *Ishikawa* e matriz de priorização para selecionar os possíveis itens de impacto do problema, segundo as percepções dos integrantes da equipe e também o acompanhamento em campo dos pontos levantados como causa, além da verificação dos dados coletados na etapa de medição;
- Etapa de Melhoria (*Improve*) - onde ações foram empregadas para sanar as lacunas levantadas foram organizadas na forma de uma plano de ação no formato 5W1H;
- Etapa de Controle (*Control*) - na qual foram estabelecidos padronização para os itens de 5S.

Para o capítulo 5 é apresentado os resultados das ações realizadas e o comportamento das devoluções de mercado após serem empregadas as etapas do ciclo do DMAIC, mostrando graficamente o comportamento do número de devoluções ao longo do ano de trabalho.

O capítulo 6 é o de conclusões e enquadra os resultados em relação aos objetivos propostos, pontos relevantes, ganhos com o trabalho e proposta de trabalhos futuros. Por fim, referências bibliográficas onde foram reunidas as obras consultadas para realização deste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Conforme Arslankaya e Atay (2015), muitas empresas possuem problemas em suas instalações, sejam em termos de equipamentos ou de processos. Essas anormalidades levam ao surgimento de paradas de linhas e conseqüentemente perdas e desajustes na entrega final de produtos. Com isso, as empresas acumulam prejuízos e perdem mercado pela falha na entrega de seus produtos no tempo fechado previamente com o cliente.

Para se manterem competitivas em seus negócios as companhias recorrem a metodologias que permitam realizar melhorias, planejando suas atividades, assegurando máquinas e instalações, gerenciando pessoas e tarefas em seus sistemas (Arslankaya & Atay, 2015) a fim de eliminar desperdícios, reduzir avarias e definindo valores dentro da empresa (Mourtzis, Papathanasiou, & Fotia, 2016).

2.1 *Lean Manufacturing*

Dentro do contexto de eliminação de desperdícios, o *Lean Manufacturing* tem se mostrado como uma metodologia eficiente para alavancar resultados de produtividade em qualquer tipo de organização (Urban, 2015) tendo seu foco em melhorias de indicadores (Greinacher, *et al.*, 2015).

No entanto, para que sejam bons frutos sejam apanhados são necessários mais do que um “*click lean*”, ou seja, não basta apenas aplicar suas ferramentas é preciso entender suas raízes, conceitos e levá-los a todos os escalões da organização. De forma contrária, progressos obtidos em seu “*start*” não irão se sustentar ao longo do tempo (Rahani & al-Ashraf, 2012).

Historicamente o *Lean Manufacturing*, também conhecido como “pensamento enxuto”, tem suas bases formadas pelo *Toyota Production System* (TPS). Este por sua vez teve seu desenvolvimento a partir da segunda guerra Mundial, onde Eiji Toyoda, Taiichi Ohno e associados, forçados pela escassez de recursos e capital, promoveram entre seus empregados uma cultura para eliminação de resíduos. Endente-se por resíduo, tudo que não estivesse em quantidade mínima necessária aos equipamentos, peças, materiais, tempo, espaço, ou seja, que não fossem essenciais para agregar valor ao produto final (Pepper & Spedding, 2010; Powell, *et al.*, 2014).

A prática do TPS provou que o uso de técnicas enxutas foram esmagadoras para alcance de resultados (Wahab, Mukhtar, & Sulaiman, 2013), emergindo com vários conceitos, tornando-se modelo dominante

de produção, fazendo com que até as grandes empresas européias começassem a se adaptar ao novo cenário (Pepper & Spedding, 2010).

Em resumo, para Stone (2012), o processo de evolução do *Lean manufacturing* mostra-se dividido em cinco períodos distintos:

1. Período de 1970 a 1990

- Também chamado de “A descoberta”, ocorre a observação do modo de gestão japonesa, regida pela tomada de decisões por consenso, orientada sob ações para solução de problemas, generalização da força de trabalho, flexibilidade na execução de tarefas, e foco constante em mudanças no processo para melhoria;
- Introduz *Kanban*, sistema usado para controle de produção;
- Publicação da tese de mestrado John Krafcik, o primeiro a introduzir o termo “*lean*” em uma literatura;
- Womack e seus colaboradores lançam o livro “*The machine that changed the World*”, onde descreveram as técnicas de fabricação desenvolvidas pelos fundadores da *Toyota Motor Company*.

2. Período de 1991 a 1996

- Fase de “Disseminação”, onde houve um aumento razoável de artigos descrevendo o TPS propagando seus conceitos;
- Inicialmente os princípios de produção enxuta foram predominantemente aplicados em indústrias automotivas, permitindo a inserção de novos conceitos como o “*just in time*” (JIT) e ciclos de qualidade.

3. Período de 1997 a 2000

- Introdução do termo “*Lean Thinking*” a fim de auxiliar as organizações a compreender a essência da mudança no planejamento de suas etapas de processamento;
- Foi constituída uma extensa literatura sobre transformações “magras” nas indústrias, promovendo o surgimento de estudos empíricos utilizando métodos qualitativos e quantitativos de análise.

4. Período de 2001 a 2005

- Dentro das operações de gestão e engenharias, o pensamento enxuto continuou tendo enfoque nas pesquisas acadêmicas, chegando a atingir, um pequeno contingente de outras disciplinas como Desenvolvimento de Recursos Humanos (HRD) e economia;
- Expansão do *Lean* em organizações diferentes das automobilísticas, sendo empregado desde o chão de fábrica até às salas de reunião;
- Utilização do *Value Stream Mapping* (VSM);

5. Período de 2006 a 2009

- Caracterizado pelo lançamento de 26 artigos em revistas científicas. Aumento atribuído ao fato da *Toyota Motor Company* se tornar a principal fabricante de automóveis do mundo, desbancando a *General Motors*;
- Muitas críticas ao sistema *Lean* passam a ser baseadas em práticas de estudos e menos em opiniões de cunho pessoal, ao mesmo tempo em que outros estudiosos buscam contextualizar o desenvolvimento organizacional à teoria existente de transformações enxutas.

A visão *Lean* é fundamentada na identificação dos valores acrescentados e não agregados no desenvolvimento das tarefas nos diversos processos. Buscando a eliminação de resíduos em todas as áreas e funções em um determinado sistema (Pepper & Spedding, 2010). Para Womack e Jones (1996), os desperdícios podem ser encontrados em organizações de sete formas:

- Superprodução - neste caso há produção acima do que é absorvido pelo cliente, gerando excesso de produto sem escoamento;
- Transporte - distância demasiada entre recursos necessários à produção e posto onde se executam as funções;
- Movimentação - desperdício ligado aos passos executados pelos operadores na realização de suas atividades que não agregam valor ao produto final;
- Espera - tempo no qual o operador não está em atividade e fica aguardando alguma etapa finalizar para dar início a sua própria;
- Estoque - produto parado na empresa, gerando custos, diminuindo recursos para investimentos e aumentando o *Lead Time*;

- Superprocessamento - são aqueles em que há máquinas e equipamentos que não são bem utilizados, gerando etapas de processo desnecessárias;
- Defeitos - são erros durante a produção em que podem gerar a perda completa da peça ou retrabalho para realizar um novo ajuste originando gastos não planejados.

A resolução desses desvios de processo pelo trabalho de R.Sundar, *et al.* (2014) pode ser obtidas com o emprego de ferramentas do *Lean*. Para alcançar uma implementação bem sucedida todos os elementos devem ser incorporados ao sistema. São elas:

A) *Value Stream Mapping* (VSM)

O trabalho apresentado por Carvalho *et al.* (2015) mostra que o *Value Stream Mapping* também possui bases no Sistema Toyota de Produção, mais especificamente no chamado “Diagrama de Fluxo de materiais e informação”. É utilizado para esquematizar a cadeia de valor partindo dos fornecedores até chegar aos clientes, mapeando um produto determinado ou grupo de produtos, representando o fluxo de materiais levando em consideração o que gera ou não valor acrescentado ao produto final. A aplicação da metodologia deve conter quatro passos básicos, são eles:

1. Realizar triagem para seleção dos grupos, podendo-se utilizar Análise de Pareto para esse efeito;
2. Representar o VSM do estado atual;
3. Projetar o VSM do estado futuro;
4. Estabelecer as ações de melhoria a serem implementadas.

Possui diretrizes que consistem em cinco aspectos e podem sofrer alterações de forma simplificada, sem levar em consideração a necessidade de utilizar investimentos, são elas: unidade de produção, número de lotes, tamanho do supermercado e sequência de produção (Yang, *et al.*, 2015).

Carvalho *et al.* (2014) considera em sua obra que o VSM auxilia de forma útil na identificação de desperdícios e na análise da produção como um todo, que pode ser utilizada em todos níveis de aplicação *Lean*.

B) *Takt Time*

O termo “*takt*” tem origem alemã e em analogia, remete ao uso de uma batuta pelas mão de um maestro para controlar a velocidade da orquestra (Rahani & al-Ashraf, 2012). Em fabricação, trata-se do tempo utilizado para o ciclo de produção de uma peça ou componente para atender o cliente, sendo portanto, dependente da demanda mensal de fabricação (R.Sundar, *et al.*, 2014).

A fórmula aplicada para realizar o cálculo do *takt time* é obtido pela divisão mostrada na Equação 1:

$$Takt\ time = \frac{tempo\ disponível\ (por\ turno)}{demanda\ (por\ turno)} \quad Eq.\ (1)$$

Sua medição é importante, pois permite evidenciar ineficiências de processo que geram armazenagem desnecessárias, compras antecipadas de matérias-primas, gastos preliminares com salários, custos adicionais para cobrir o excedente de capacidade (Rahani & al-Ashraf, 2012; R.Sundar, *et al.*, 2014).

C) *Single Minute Exchange of Die* (SMED)

O SMED, troca rápida de ferramenta por unidade de tempo, surgiu no Japão e foi criada por Shigeo Shingo. Nasceu a partir da necessidade de diversificar produtos em baixos volumes, o que elevava ao crescimento no número de equipamentos e *setups* (Conceição, *et al.*, 2009).

Seu principal objetivo é monitorar o tempo de *setup* em máquinas para torna-lo menor possível. Alcançado o tempo mínimo, as melhorias implementadas são padronizadas (R.Sundar, *et al.*, 2014).

Conceição *et al.* (2009), indica que os tempos de *setup* podem ser reduzidos fazendo uso de gabaritos na preparação da máquina, realizar taferas paralelas para proporcionar economia de movimentos e padronizar as atividades. É fundamental também conhecer previamente as condições reais do *setup*, pois não fornecer infraestrutura e/ou não treinar os envolvidos é determinante no sucesso ou fracasso das iniciativas para minimizar tempos de troca.

D) *Kanban*

A palavra *Kanban* deriva da palavra japonesa: “*kahn-bahn*” e significa “registro visível”, ou “ parte visível” (Rahman, Sharif, & Esa, 2013). É um sistema utilizado para controlar a produção, os níveis de estoque e o fornecimento de componentes. Nele, o fluxo do processo só dá seguimento a partir do

consumo do estoque anterior e para isto, é utilizado o *Kanban*, um tipo de cartão sinalizador (Rahani & al-Ashraf, 2012).

Como o *Kanban* tem a premissa não permitir que um material seja produzido ou movimentado até que o cliente envie o sinal para isso, sua aplicação permite traçar melhorias para economizar em custos de estoque e inventário, reduzir tempos de espera e logística, minimizar sucatas e desenvolver postos de trabalho flexíveis (Rahman, Sharif, & Esa, 2013).

E) Técnica do 5S

A filosofia do 5S foi inventada no Japão e surgiu, após a Segunda Guerra Mundial como parte do movimento de qualidade, no entanto, o termo só foi formalizado em 1980 por Takashi Osada (Lamprea, Carreño, & Sánchez, 2014). De acordo com Arunagiri e Gnanavelbabu (2014) e Lamprea *et al.* (2014) o 5S se refere às palavras: *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke* e podem ser traduzidas sob as formas a seguir:

- Senso de utilização (*Seiri*) – visto como um dos primeiros passos a serem implantados, destina-se a jogar fora tudo que se mostra desnecessário ou indesejado no ambiente de trabalho, a fim de que elementos raramente usados se acumulem e gerem desordem no ambiente;
- Senso de ordenação (*Seiton*) – significa por ordem, ou seja, destinar cada coisa, objeto ou tarefa a um local específico para que seja utilizado de modo eficiente, sendo recuperados ou acessados de forma rápida;
- Senso de limpeza (*Seiso*) – “todos são zeladores”, isso é o que representa o terceiro senso, mostrando que cada um é responsável pela limpeza de seu local de trabalho e deve zelar por ele;
- Senso de padronização (*Seiketsu*) – vem para medir e controlar os três anteriores, evitando que aconteçam desvios e não se perca o que já foi alcançado. Envolve a aplicação de regras simples e visíveis que auxiliem na distinção de situações normais das anormais, permitindo o controle dos operadores em diferenciar comportamentos corretos e incorretos na execução das atividades diárias;
- Senso de autodisciplina (*Shitsuke*) – nesse, assume-se um compromisso onde todos os envolvidos precisam manter e praticar os quatro sentidos, enraizando-os como um modo de vida. Uma das maneiras de manter uma implementação bem sucedida é através da

realização de auditorias, visando assegurar que as rotinas e horários estejam sendo cumpridos e também para gerar comentários e estimular melhorias contínuas.

O estudo realizado por Omogbai e Salonitis (2017) revelam que empresas em diferentes regiões geográficas vêem o 5S de formas diferentes, no caso, para empresas japonesas, ele recebe ênfase como uma estratégia de organização de excelência, algo que é implantado nos trabalhadores em sua vida profissional e pessoal, enquanto que no Reio Unido e nos Estado Unidos, o 5S é considerado apenas como uma ferramenta para a organização do local de trabalho.

Fazer com que o 5S seja admitido como parte do processo, promove um comportamento que leva ao desempenho do papel fundamental do *Lean*, que em sua definição mais simples significa “fazer mais com menos”. Eliminar resíduos, ou seja, retirar tudo que não agrega valor, utilizando menos esforço humano, investimentos em ferramentas, espaço para fabricação e tempo de engenharia para formar o produto (Urban, 2015), conforme representação da figura 1.

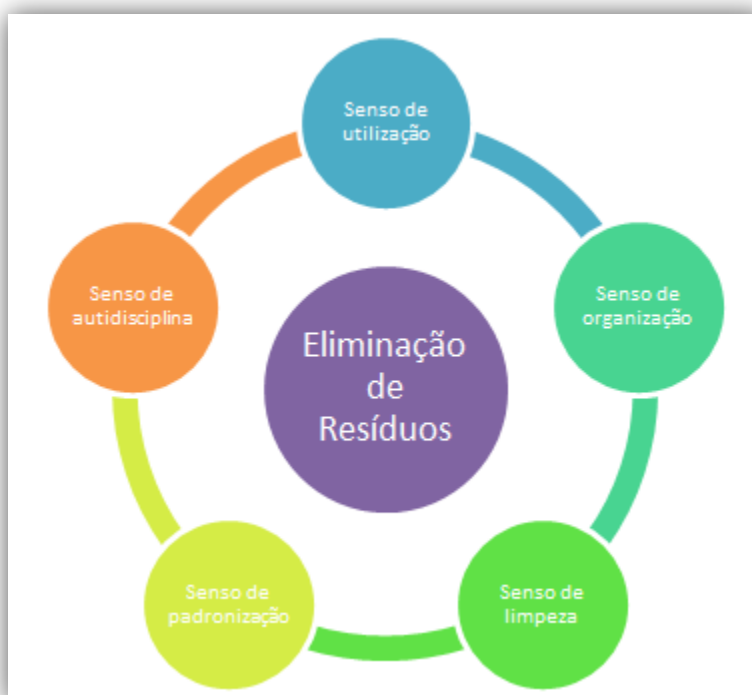


Figura 1: 5S e seu impacto para eliminação de resíduos.

Fonte: Adaptado de Arunagiri & Gnanavelbabu (2014).

O 5S é provavelmente uma das ferramentas mais utilizadas em ambiente corporativo. É vista como essencial na mudança de cultura das instituições por abrir portas para implantação de novas ideias. Sua aplicação se estende desde o chão de fábrica até os escritórios, instigando um comportamento proativo em cada colaborador para cuidar do espaço ao qual está inserido (Pepper & Spedding, 2010).

2.2 *Six Sigma*

Os progressos industriais conseguidos através da prática para eliminação de desperdício com a filosofia do *Lean* trouxe novas perspectivas nesse sentido, propiciando a busca por desenvolvimento de novos sistemas (Pugna, Negrea, & Miclea, 2016).

Uma das frentes que ganhou destaque no cenário mundial foi o sistema de melhoria contínua em qualidade. Nessa abordagem é colocado o consumidor como ponto central a fim de atender suas necessidades, fazendo que o atendimento de satisfatório ao cliente seja ponte para maximização de lucros (Erdogan & Canatan, 2015).

Para Pugna, Negrea e Miclea (2016), a busca em excelência em qualidade vai além da satisfação dos clientes, envolve também atender plenamente parceiros, funcionários e outras unidades que fazem parte do processo. Criar uma atmosfera em direção à excelência fabril, no intuito de desenvolver e aplicar soluções perfeitas em produtos ou serviços, otimizando o sistema em prol do “zero defeito”.

Com a finalidade gerenciar melhorias, reduzir o número de defeitos e elevar o controle de qualidade o *Six Sigma* surge como ferramenta importante para solucionar desvios de processo que impactam na qualidade final do produto.

A metodologia do *Six Sigma* se originou nos Estados Unidos da América – EUA na empresa *Motorola Inc.* por volta dos anos 80. Nesse tempo as empresas norte-americanas sofriam com a forte concorrência dos produtos asiáticos e precisavam reagir rapidamente para se não deixar de ocupar espaço no mercado. A solução encontrada foi investir em melhorias para elevar os níveis de qualidade (Ertürk, *et al.*, 2016).

Em seu princípio a filosofia surge com os esforços de Bill Smith na Motorola, no entanto, o ponto de viragem que levou à disseminação da metodologia aos diversos campos, veio com trabalho de Jack Welch, na época CEO da *General Electric* – GE. Nesse estágio, a partir da observação do sucesso do experimento realizado por Smith, Welch definiu e conduziu a metodologia para forma *Six Sigma* na GE da forma como a conhecemos (Pepper & Spedding, 2010).

O termo “*Six Sigma*” faz referência à medição da taxa de defeito de um sistema, suportado por técnicas estatísticas, levando a uma estruturação sistêmica da abordagem para a melhoria do processo convergindo para a redução em 3,4 defeitos para cada milhão de oportunidades (Pepper & Spedding, 2010). O resultado obtido com a técnica foi um impressionante aumento nos níveis de qualidade de vários produtos *Motorola* e *General Electric*.

Em meados do ano de 1990, a metodologia foi sendo expandida a outras empresas como *ABB*, *Allied Signal* e *Texas Instruments* e nos anos 2000, muitas outras corporações iniciaram o processo para

aderir ao *Six Sigma* em suas unidades e em 2003, mais de 100 bilhões de dólares em economia foram computados fazendo dessa metodologia um padrão de nível global em práticas de qualidade em negócios (Mehrabi, 2012).

Embora a abordagem para controle de qualidade tenha nascido e se enraizado predominantemente na indústria transformadora, nos dias atuais, tem apresentado um crescimento exponencial em outros setores, especialmente no setor hospitalar, bancos, indústrias aéreas, serviços financeiros, serviços em utilidade pública e outros (Reosekar & Pohekar, 2014).

Obter altos níveis de qualidade se tornou alvo indispensável para alcançar sucesso empresarial e para atingi-lo era preciso aliar decisões acertadas com bases em análises claras que levem à aplicação correta de metodologias e ferramentas operacionais. A mudança de patamar nos níveis de qualidade se dá através da otimização dos processos, implementando ações preventivas e busca pela excelência (Simanová, 2015).

Nesses termos, a abordagem *Six Sigma* oferece bases para auxiliar nos processos de investigação e propor a solução para decisão ótima. Fundamentalmente o sigma deriva da letra grega σ (minúscula) e representa o desvio padrão em estatística.

O desvio padrão é usado para medir a dispersão em torno de uma média de resultados e representa a variabilidade que os dados possuem em torno dessa média, revelando assim, a instabilidade do sistema. Dessa forma, quando se diz que um processo é três sigma, por exemplo, significa que 93,3% está em conformidade, representando 66.800 de defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) (Erdogan & Canatan, 2015).

De acordo com Erdogan e Canatan (2015) para realizar o cálculo do DPMO utiliza-se a Equação 2:

$$DPMO = \frac{n^{\circ} \text{ de defeitos}}{(n^{\circ} \text{ de oportunidades por unidade})(n^{\circ} \text{ de unidades})} \cdot 10^6 \quad \text{Eq. (2)}$$

Por exemplo, se houverem 250 pedidos de um produto, 52 erros e 4 oportunidades de erro, então pela Equação 3 temos:

$$DPMO = \frac{52}{(4)(250)} \cdot 10^6 = 52000 \quad (\text{Nível Sigma} = 3.1) \quad \text{Eq. (3)}$$

A tabela 1 representa os níveis sigma e suas respectivas oportunidades de defeitos e rendimentos.

Tabela 1: Relação entre defeitos por milhão de oportunidade, nível sigma e rendimento.

Nível Sigma	DPMO	Rendimento %
1	690.000	30.9
2	308.000	69.2
3	66.800	93.3
4	6.210	94.4
5	320	99.98
6	3.4	99.9997

Fonte: Adaptado de Erdogan e Canatan (2015).

O domínio exercido pelo objeto *Six Sigma* para frear descontroles em operações é realizado através da utilização da ferramenta DMAIC (K.Srinivasan, *et al.*, 2014). Ele é derivado do ciclo de melhoria chamado *Deming*, ou seja, ciclo PDCA (K.Srinivasan, Muthu, Devadasan, & Sugumaran, 2014), onde:

- “Plan” e significa planejar as etapas do trabalho a ser iniciado;
- “Do” constitui “fazer”, por em prática o que foi traçado;
- “Check” é a etapa em que se realiza a verificação se houve consistência na aplicação fases;
- “Act” denota estado de “ação”, agir com maior assertividade. ‘

De maneira análoga, o DMAIC conforme Erdogan e Canatan (2015) e Abreu (2011) apresenta as seguintes definições para cada fase:

- A) Definir – etapa onde ocorre definição do problema, a identificação dos processos críticos, definição da equipe do projeto e outros. Realizam-se as análises de divergências e se estabelecem objetivos e prazos.
- B) Medir – fase em que são executados os planos de medição e mensuradas as capacidades do processo, traçado o mapa detalhado do fluxo de produção e realizando a validação do sistema de medição e recolha de dados, levando a um diagnóstico do estado atual do processo.
- C) Analisar – onde há a determinação do problema raiz, traçam-se as possíveis causas do problema e realiza-se a avaliação dos resultados das medições obtidas;
- D) Melhorar – identificados os processo e etapas críticas, apontar soluções potenciais, implementar limites de tolerâncias para efeitos das ações e eliminar as causas levantadas, mantendo o monitoramento para cultivar o processo sempre em estado de melhoria;
- E) Controlar – estabelecer controles nas atividades críticas, acompanhando os processos e realizando avaliações, tendo foco nas necessidades e exigências reivindicadas pelos clientes.

Elaborar normas e procedimentos das ações empregadas com sucesso em campo e documentar os projetos validados e celebrar com o time o atingimento dos resultados.

Simanová (2015) propõe em seu estudo as principais ferramentas utilizadas em cada etapa do DMAIC que auxiliam na obtenção de resultados satisfatórios no uso do *Six Sigma* (ver Tabela 2).

Tabela 2: Principais ferramentas e metodologias aplicadas nas etapas do DMAIC.

Etapas do DMAIC	Ferramentas e Metodologias
DEFINIR	Análise de divergência em processos; Cálculo do DPMO; Métodos gráficos e estatística descritiva; Histograma; Carta de projeto.
MEDIR	Esquematização do processo; Plano de medição pelos índices de capacidade; Histograma; Métodos de análise e síntese; Métodos e ferramentas de estatística descritiva.
ANALISAR	<i>Brainstorming</i> ; Análise de Pareto; Diagrama de <i>Ishikawa</i> .
MELHORAR	Plano de reação dos métodos gráficos e estatísticos; Histograma.
CONTROLAR	QFD; Diagrama de afinidade.

Fonte: Adaptado de Simanová (2015).

O destaque para algumas ferramentas como *Brainstorming* que segundo Litcanu *et al.* (2015), teve este termo popularizado por Faickney Osborn em seu livro de 1953 intitulado de Imaginação Aplicada. Tratava-se da aplicação de uma técnica de grupo, em que são feitos esforços para resolver uma problemática através da contribuição de ideias dadas de modo espontâneo por cada participante, o propósito é propiciar um ambiente no qual o grupo em sua forma geral seja responsável pela tomada das decisões, e desta forma reduzir a dominância de determinada visão individual.

Litcanu *et al.* (2015) também destacava que à medida que o time interage as sugestões aumentam e podem ser agrupadas, combinadas, expandidas, aperfeiçoadas e priorizadas de maneira apropriada, muitas vezes se tornando composição de outros métodos de pesquisa, como no levantamento dos seis tipos de causa (conhecidos como 6Ms) para uso sob a forma do diagrama de *Ishikawa*.

Dobrussskin (2016) em seu trabalho, mostra que o diagrama de *Ishikawa*, que também pode levar os nomes de espinha de peixe e diagrama de causa e efeito, é empregado na investigação da causa de um evento específico que possuem potencialidade para gerar determinados efeitos, tem aplicabilidade principalmente em problemas de qualidade.

O diagrama de *Ishikawa* visa estabelecer causas, ou possíveis causas, para um determinado tipo de problema, organizando as possibilidades em categorias distribuídas em um formato que se assemelha a um esqueleto de peixe, daí o nome “espinha de peixe”. Normalmente, as classes são divididas em itens de mão-de-obra, método, máquinas, matérias-primas, materiais e medidas, e por isso, possui a representação usual de 6Ms (Dobrussskin, 2016). A figura 2 apresenta as classes do diagrama de *Ishikawa*.



Figura 2: Representação genérica do diagrama de *Ishikawa*.

O diagrama de espinha de peixe se apresenta como uma maneira eficiente por ser de fácil representação e padronização na busca por soluções de problemas sejam eles de natureza técnica ou não (Dobrussskin, 2016).

Outro utilizado em estudos do *Six Sigma* é a matriz de priorização. Para Gosenheimer (2012), a matriz deve ser empregada para estabelecer uma ordem de importância relativa para cada item ao qual for

aplicado. O grau de importância é conseguido atribuindo-se um valor de impacto que a atividade exerce em determinados critérios, como impacto sobre o resultado, autoridade sobre a causa, dificuldade de eliminar, e frequência de ocorrência e dentre outros.

O diagrama de Parato é utilizado para verificar os itens de maior impacto relativos ao problema que está sendo analisado e, portanto, auxilia na tomada de decisão das causas com melhores chances de resolução, em concordância com o trabalho realizado por Prashar (2014).

Wilkinson (2006), destaca que a análise de Pareto consiste em um gráfico de barras verticais que ordena as frequências da maior para a menor, acrescido de uma linha cumulativa em seu topo, facilitando o jugamento da regra dos 80/20, mostrado na figura 3. Por esta proporção, entende-se que 80% dos defeitos existentes em um processo estavam representados em 20% das fontes dos problemas.

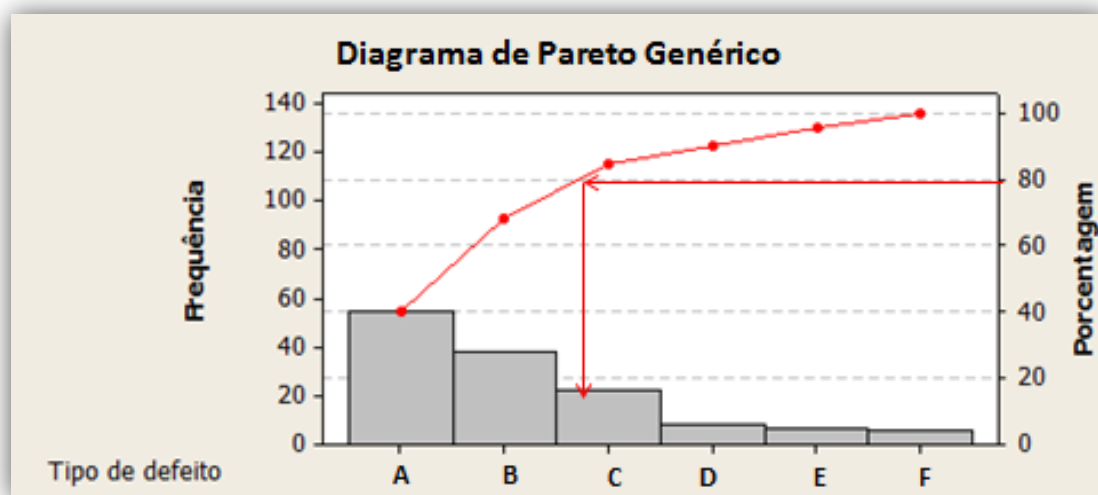


Figura 3: Diagrama genérico para representação da Análise de Pareto.

A análise de Pareto promove um efeito muito positivo no sentido de aplicar esforços de forma maximizada em pontos que poderão gerar a melhoria dos resultados. Powell e Sammut-Bonnici (2015), afirma que a aplicação da regra dos 80/20 tende a reduzir esforços não eficientes.

Outra ferramenta bastante utilizada é a chamada 5W1H, um *checklist*, empregado para elaborar planos de ações corretivas e estabelecer procedimentos associados aos indicadores. Através da identificação das origens do problema, permite estipular uma iniciativa a curto, médio e longo prazo para cumprimento das ações relativas aos problemas, realizando seu acompanhamento (Ferreira, 2013).

A sigla 5W1H é de origem inglesa e vem das iniciais das perguntas: *What?* (O quê?), *Who?* (Quem?), *Why?* (Por quê?), *Where?* (Onde?), *When?* (Quando?), *How?* (Como?), normalmente organizados como na tabela 3.

Tabela 3: Plano de ação genérico do tipo 5W1H.

Plano de Ação – 5W1H					
O quê?	Onde?	Por quê?	Como?	Quem?	Quando?
Ação a ser realizada	Local de implementação da ação	Finalizada /objetivo da ação	Procedimento/método /diretriz a ser seguido para realizar a ação	Responsável pela execução da ação	Período /data para a conclusão da ação

Fonte: Adaptado de Ferreira (2013).

2.3 Limitações dos métodos

O trabalho apresentado por Pepper e Spedding (2010), indica que apesar dos muitos casos de sucesso envolvendo as abordagens do *Lean* e do *Six Sigma*, ambas as metodologias apresentam algumas restrições que devem ser levadas em conta.

No caso do *Lean*, Albliwi, Antony e Lim (2015) afirmam que um dos fatores principais que envolvem o sucesso ou fracasso na aplicação do método está centrada na maneira com a qual ela está compreendida e incorporada às rotinas da organização. Muitas vezes, essa mudança de pensamento tem com espinha dorsal um compromisso assumido pela área gerencial, mas que não é aderido pelos demais envolvidos e portanto, a mudança cultural necessária à aplicação do *Lean* não é alcançada de maneira efetiva, levando a resultados temporários e promovendo incredulidades no método que passa a ser encarado como “perda de tempo” ou “modismo gerencial”.

Outro ponto relevante, que estimulam questionamentos sobre produções magras é relativo à sua aplicação em empresas com alta variedade e de baixo volume de produção, pois sugestões de atividades de valor acrescentado não levam em conta a complexidade da fabricação do produto, tornando difíceis as etapas de mapeamento, análise e consequentemente, de padronização das atividades (Pepper & Spedding, 2010).

Para o *Six Sigma*, as barreiras a serem transpostas esbarram muitas vezes nos altos custos de treinamento dos funcionários e até mesmo no período de tempo necessário para que os primeiros resultados se tornem visíveis. Isso porque a sistemática do processo pode evoluir para uma ameaça puramente burocrática em que apenas há consumo de tempo e recursos mal empregados (Pepper & Spedding, 2010).

2.4 *Lean Six Sigma*

Albliwi, Antony e Lim (2015) evidenciam em seu trabalho que o *Six Sigma* inserido isoladamente nas corporações não é capaz de remover todos os tipos de resíduos encontrados no processo. Da mesma forma como o *Lean* não possibilita o controle estatístico e tão pouco reduz a variabilidade dos artigos produzidos.

No intuito de superar as fragilidades apresentadas na implantação separada das metodologias, surge um novo conceito: o *Lean Six Sigma* (LSS). Neste, adota-se a combinação das duas filosofias e essa integração leva à geração de um processo mais robusto, em que a eficiência e alto desempenho são atingidos mais rapidamente do que se fossem utilizadas as metodologias separadamente (Albliwi, Antony, & Lim, 2015).

Hilton e Sohal (2012) definem *Lean Six Sigma* como uma filosofia organizacional que compreende uma série de fatores críticos para uma implementação bem sucedida da combinação da abordagem *Six Sigma* e *Lean*. Já para Yadav e Desai (2016), o LSS trata-se de uma teoria fundamentada na melhoria dos negócios, maximizando o valor do acionista, elevando a qualidade dos produtos, aumentando a velocidade na execução dos trabalhos e melhorando a satisfação dos clientes.

O ciclo para demonstrar as ancoragem “magra” aliada à redução da variabilidade do *Six Sigma* está representado através da figura 4:



Figura 4: Ciclo para associação da abordagem LSS.

Fonte: Adaptado de Vinodh (2013).

A abordagem LSS permite estabelecer características únicas nesse modelo que ambas as ferramentas separadas não apresentariam, possibilitando realizar uma gestão integrada do negócio a qual são inseridas, conferindo-lhe um caráter científico.

O método possui bases no chamado LSS-DMAICS e significa: mensurar, analisar, melhorar, controlar, sustentar e promover a essência do pensamento enxuto, ou seja, além de exercer controle estatístico dos dados e resultados possui foco também na eliminação de desperdícios das etapas do processo.

Além do LSS-DMAICS, o método do LSS pode apresentar ainda outras combinações que decorram das duas filosofias, podendo as ferramentas do *Lean* serem inicialmente implantadas nas unidades fabris, seguidas da inserção das ferramentas do *Six Sigma*. No entanto, Vinodh (2013) defende que para assegurar a eficiência da implantação do LSS elas devem ser iniciadas simultaneamente, o que permitirá a superação de ineficiências com a falta de planejamento, habilidade e até mesmo de má gestão.

Algumas ferramentas e técnicas utilizadas em função do LSS estão listadas no esquema da figura 5:

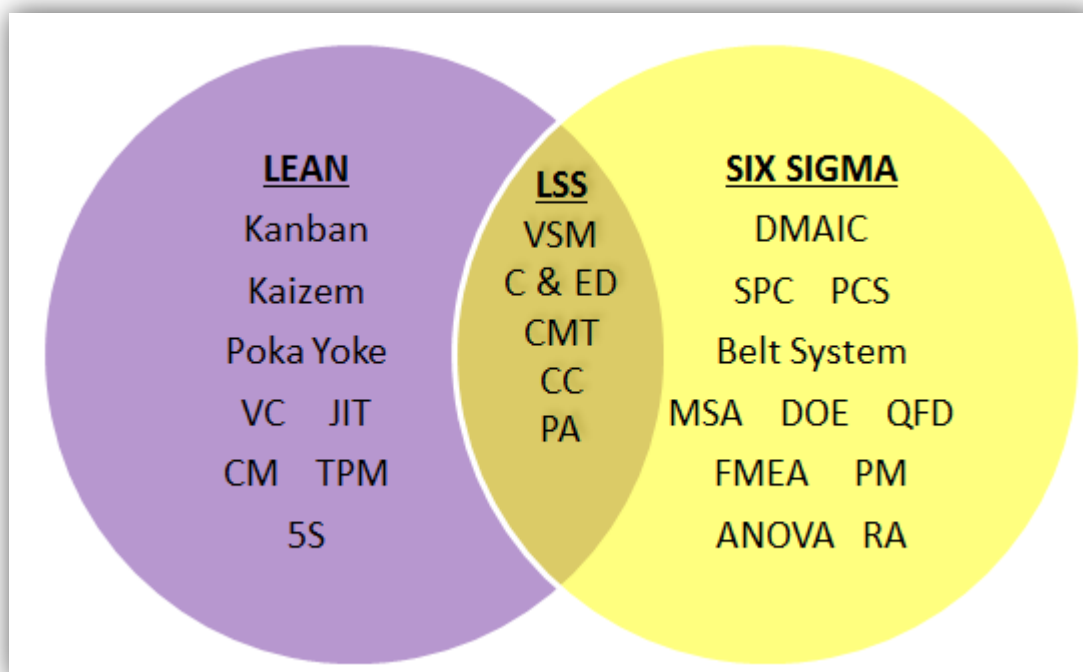


Figura 5: Principais ferramentas e métodos utilizados em LSS.

Fonte: Adaptado de Vinodh (2013).

No levantamento realizado por Albliwi, Antony e Lim (2015), demonstra que as principais ferramentas aplicadas, em diferentes tipos de indústrias que obtiveram sucesso em estudos de casos foram:

- A) C&ED - Diagrama de Causa e Efeito;

- B) VSM - Mapeamento de Fluxo de Valor;
- C) 5S - Cinco sentidos;
- D) DOE - *Design of Experiments*;
- E) PA - Análise de Pareto.

Os autores destacam ainda, mais de 50 benefícios associados ao uso do LSS em avaliação de 19 estudos de caso e sobressaltam os 10 de maior impacto:

- I. Aumento da lucratividade;
- II. Melhorias na satisfação dos clientes;
- III. Redução em custos;
- IV. Diminuição do tempo de ciclo;
- V. Elevação em indicadores de desempenho;
- VI. Minimização de defeitos;
- VII. Curto tempo de parada por máquinas quebradas;
- VIII. Redução de inventário;
- IX. Qualidade de produtos com excelência;
- X. Ampliação da capacidade de produção.

A união dos princípios do *Lean* com o *Six Sigma* estabelece uma gama de possibilidades para o uso de ferramentas e suas diversas combinações nas etapas do ciclo do DMAIC no LSS, as ferramentas mencionadas até aqui são meramente exemplificativas sendo de responsabilidade da equipe a escolha de cada ferramenta e a maneira com a qual serão empregadas dependendo do tipo de problema e dos objetivos que se pretendem atingir (Ferreira, 2013).

3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Os refrigerantes são bebidas carbonatadas que listam o topo das mais consumidas em todo o mundo. Apresenta, além da adição de CO₂, elevada acidez e alto teor de açúcar como características marcantes e podem ser encontradas em várias versões de embalagens e sabores (Francisco, Brum , & Cassella , 2015).

No Brasil, os mais populares são os refrigerantes do tipo cola, laranja, uva, limão ou guaraná (feito a partir de uma fruta tipicamente amazônica) e podem ser envasados em quatro tipos preferenciais de embalagens: plástica de politereftalato de etileno (PET), garrafas de vidro e latas em alumínio ou aço (Francisco, Brum , & Cassella , 2015).

De acordo com Soares, *et al.* (2015) para que sejam mantidas as qualidades sensoriais da bebida em estado satisfatório, o material ao qual o líquido será envasado é de fundamental importância e, portanto, as embalagens precisam dispor de algumas propriedades mecânicas específicas, como resistência mecânica elevada, tenacidade, impermeabilidade e inércia. Esta última possui papel crucial, pois como o refrigerante é classificado como alimento, não pode existir interações do recipiente com o líquido. No entanto, em caso de recipientes metálicos há preocupações ainda mais acentuadas que devem ser levadas em consideração.

Embalagens em metal destinadas ao envase de bebidas carbonatadas precisam ter suas etapas de processo bem definidas e controladas, uma vez que os refrigerantes contêm acidez pronunciada, podem levar ao desencadeamento de processos corrosivos, fazendo com que haja migração de íons metálicos da embalagem para o líquido (Francisco, Brum , & Cassella , 2015).

Além da migração dos elementos metálicos por ação da bebida na estrutura da lata, ou seja, corrosão por ação interna, a ação do agente causador pode ocorrer também de fora para dentro, passando a sofrer interferência de agentes externos, como condições climáticas quentes acima de 30°, umidade relativa superior a 60% ou em presença de contaminantes como cloretos (BDSA, 2001).

Os problemas de corrosão podem resultar na concentração de metais em níveis acima dos tolerados, ocasionando mudança na cor e odor do produto, tornando-o impróprio para consumo, gerando perdas por qualidade, devolução de produtos, descredibilidade das marcas no mercado e riscos à saúde do consumidor (Soares, *et al.*, 2015).

Para que esses produtos estejam nas prateleiras da forma como os conhecemos são necessárias várias etapas de fabricação. As principais fases do processo são:

1. Preparação do xarope – onde ocorre a mistura de água, açúcar (ou adoçante no caso de refrigerante *diet*), extratos e aromatizantes com formulações específicas que variam de acordo com cada tipo de refrigerante;
2. Carbonatação – etapa em que o xarope é resfriado e acontece a injeção dióxido de carbono (CO₂). A adição de CO₂ vem para dar o frescor habitual dos refrigerantes, conferindo-lhe uma sensação de “formigamento” no paladar. Já o resfriamento é responsável por promover a melhor interação e incorporação do CO₂ com o xarope, evitando seu despendimento e também de impedir que haja formação de espuma no momento de encher a lata, porque bebidas quentes podem gerar espuma excessiva levando à problemas com nível baixo;
3. Enchimento (ECH) – o xarope passa a ser chamado de refrigerante após a carbonatação e resfriamento. É distribuído da máquina de enchimento às latinhas então vazias em volumes pré-determinados;
4. Recravação (REC) – nesse momento a tampa é fixada à lata com refrigerante para que mantenha suas funções organolépticas intactas e deixando-o protegido de risco de contaminações e outros;
5. Aquecimento (*Warmer*) – nessa fase há o aquecimento gradual da bebida envasada, já que esta entra fria, pela atuação *sprays* de água sob as latas pra que impeça o fenômeno de condensação evitando que as latas permaneçam úmidas ou mesmo molhadas nas fases seguintes do processo, fazendo que sejam minimizados os problemas na etapa de empacotamento, como danificar o papelão das caixas ou provocar mal selagem na formação de pacote, no caso de embalagens que utilizem filme.
6. Empacotamento (EPC) – as unidades de latas são agrupadas em pacotes que serão colocados para comercialização;
7. Inspeção – as embalagens são inspecionadas antes de passar à etapa seguinte para checar possíveis alterações;
8. Paletização e Envolvimento (ENV) – os pacotes são organizados em camadas, empilhados em paletes para armazenamento e envolvidos com filme plástico;
9. Distribuição – os paletes são colocados no armazém onde permanecem até serem disponibilizados e transportados aos locais de venda.

As etapas de produção encontram-se representadas esquematicamente na figura 6:



Figura 6: Etapas para envase de bebidas.

3.1 Processo de corrosão: *blowout*

O efeito da corrosão é um dos problemas mais insidiosos e críticos de metalurgia tendo influência no comportamento, qualidade e confiabilidade no metal, deixando até mesmo os melhores e maiores esforços de cientistas e engenheiros amargar em frustrações há décadas, na busca de encontrar meios de combater aos seus efeitos (DeWeese, *et al.*, 2008).

Para DeWeese *et al.* (2008) as primeiras manifestações que relatam os efeitos de corrosão datam no início de Século XX, onde o exército britânico em temporada de monções à Índia, afirmaram ter problemas por falhas em cartuchos de bronze, além de observarem presença de rachaduras na superfície do material. Foi evidenciado que esse processo havia sido desencadeado pelo fato das munições estarem armazenadas próximas aos estábulos que apresentavam um ambiente úmido e amoniacal que levavam ao aparecimento das fissuras.

Durante os anos de 1960 e 1970 o interesse em realizar estudos para entender a origem e formação de corrosão em metais foi especialmente impulsionado pelos programas espaciais, que precisavam assegurar a confiabilidade de seus sistemas, principalmente com os que eram tripulados, pois haviam se deparado com casos inesperados de trágicos insucessos (DeWeese, *et al.*, 2008).

Em setembro 1967 foi promovida uma reunião na Universidade de Ohio de onde surgiram excelentes bases para explicar a natureza “perversa” dos fenômenos em falhas de tanques de titânio a partir de propulsores do programam Apollo submetidos à pressão e testados supostamente em ambiente inerte de atmosfera com metanol e tetróxido de azoto (N_2O_4). O estudo não evidenciou correlação do metal com o ambiente ao qual estavam expostos (metanol e tetróxido de azoto) e também, não considerou outras fontes como as de íons cloreto que também se faziam presentes na atmosfera e que, portanto, poderiam levar às fissuras nas ligas de titânio. Mesmo assim, os relatos serviram para impulsionar novas pesquisas que envolvessem problemas semelhantes (DeWeese, *et al.*, 2008).

A corrosão nada mais é do que um processo de deteriorização desencadeado por ações químicas ou eletroquímicas, associados ou não desgastes mecânicos a partir do meio em que o material está submetido. Através de reações de oxidação e redução (redox) leva à decomposição do metal ou componente metálico resultando na formação de óxidos, hidróxidos ou sais (Silva, *et al.*, 2015).

Os metais são suscetíveis aos processos de corrosão em ambientes naturais. Em termos de termodinâmica, o metal que dá origem às latas de alumínio, por exemplo, não é encontrado na natureza sob forma elementar por se tratar de um material muito instável e, portanto, apresenta propensão a retornar a sua forma original de minério (Abreu, *et al.*, 2012).

Para amenizar os efeitos do ambiente sobre o metal, conta-se com outro fenômeno, também natural, chamado de passivação. Neste, há a formação de um fino filme de hidróxido ou óxido em sua superfície que auxilia na formação de uma proteção resistente às influências externas de ataques corrosivos (Abreu, *et al.*, 2012).

Os autores Abreu *et al.* (2012), defendem que a passivação em ligas de alumínio está associada ao desenvolvimento de uma compacta camada de óxido de alumina (Al_2O_3) que tem desenvolvimento natural em condições atmosféricas normais e que a relação de proteção oferecida por ela varia principalmente de acordo com a microestrutura, composição da liga e meio corrosivo. Da mesma forma, a modificação de alguma dessas variáveis provoca a alteração direta da velocidade morfológica da corrosão.

Segundo Edwards e May (2003), as tampas utilizadas em processos destinados à embalagens refrigerantes foram projetadas para assegurar níveis aceitáveis de qualidade e garantir a satisfação das necessidades dos consumidores. Deve ser resistente o suficiente para suportar a pressão interna da bebida e ao mesmo tempo, mostrar facilidade na abertura. Outras são listadas a seguir:

- Proteger e preservar o produto;
- Ser resistente às ações químicas do líquido;

- Suportar as condições do processo e de manuseio;
- Resistir às condições do ambiente externo;
- Utilizar matérias-primas que possam ser recicladas.

Latas de alumínio são normalmente fabricadas a partir de dois tipos de ligas: a de manganês - alumínio 3004, com uso no corpo da lata e a outra de magnésio – alumínio 5282-H38, utilizada nas tampas (BDSA, 2001).

Ao longo do tempo, as tampas dos recipientes das bebidas passaram por várias modificações. Algumas delas foram: reforçar mecanicamente a estrutura da tampa, modificar aba para que ficasse retida no interior da lata após a sua abertura, o que fez com que recebesse o nome de ecológica, alargar a própria abertura para aumentar a capacidade de escoamento do líquido e diminuir sua espessura. Esta última mostrou influência positiva na redução de gastos e melhoria em agilidade do processo para abrir a bebida e negativa, em termos de aumento da vulnerabilidade das tampas à ataques corrosivos. Também teve seu diâmetro final diminuído em cerca de 25% e 30% no metal usados em suas extremidades (DeWeese, *et al.*, 2008), conforme pode ser visto na figura 7.

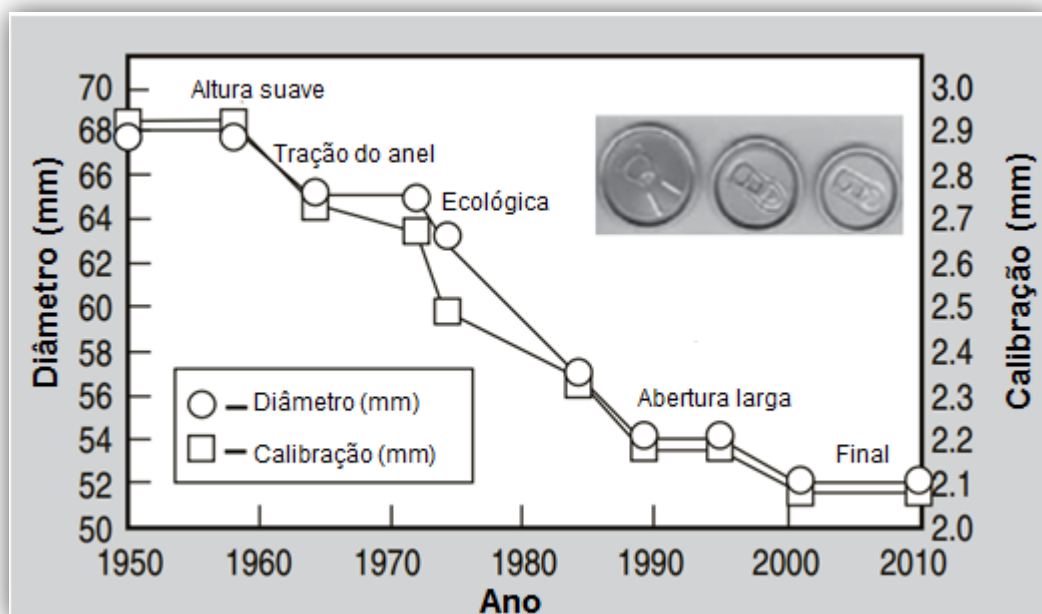


Figura 7: Evolução do diâmetro das tampas no decorrer dos anos.

Fonte: Adaptado de DeWeese, *et al.*, (2008).

Quando um refrigerante é envasado a pressão em seu interior chega a aproximadamente 370 kPa (quilo pascal), podendo variar de acordo com a quantidade de carbonatação (normalmente de 3,6 a

4,0 volume de CO₂ por volume de líquido), pressurização em níveis de enchimento, natureza do produto, espaço vazio deixado no interior da bebida e temperatura (DeWeese, *et al.*, 2008).

Dos fatores anteriormente apresentados dois merecem destaque. Um deles é o fato da pressão interna oscilar de modo diretamente proporcional a variação da temperatura, isso porque o aumento da temperatura provoca a diminuição da quantidade de CO₂ dissolvido no líquido, causando seu desprendimento até preencher o espaço vazio interno na embalagem, já que os recipientes não devem ser cheios até atingir sua total capacidade. O segundo é aquele dependente do tipo de bebida, pois a solubilidade do CO₂ que se mostra maior em refrigerantes açucarados e menor nos do tipo *diet*, onde a solubilidade é maior, há menos gás disponível para desprendimento e portanto, menor será a pressão interna (DeWeese, *et al.*, 2008), como demonstra a figura 8.

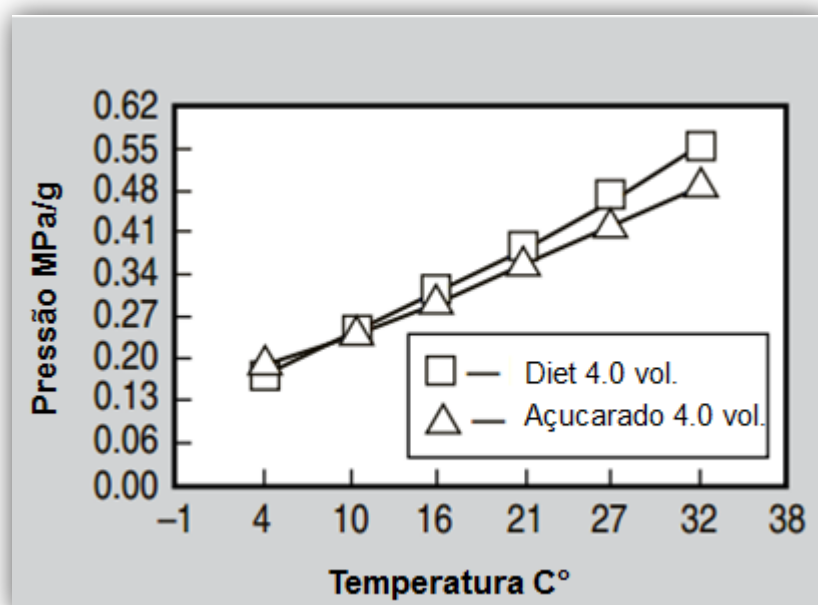


Figura 8: Pressão interna em bebidas *diet* e açucarada em função da temperatura.

Fonte: Adaptado de DeWeese, *et al.* (2008).

Os cuidados com a pressão interna são importantes para evitar problemas com rompimento involuntário da escotilha do anel na linha de corte de abertura, onde o lacre é projetado para fora da tampa, deixando a bebida exposta ao ambiente. Esse fenômeno é conhecido como *blowout*.

Na figura 9 A, temos a representação de uma abertura correta do lacre (para dentro) e ao lado, a abertura prematura e espontânea do anel (para fora).

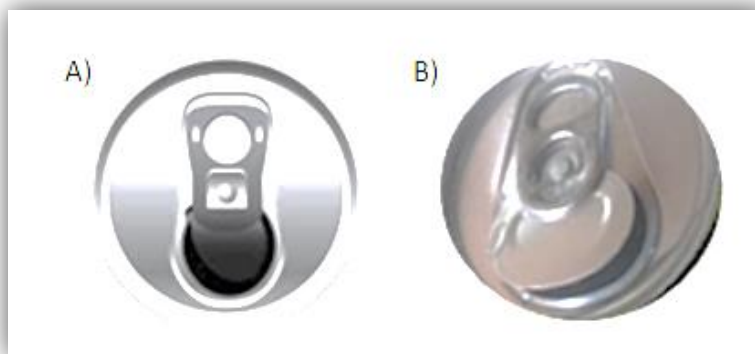


Figura 9: A) Tampa com abertura do lacre para o interior da lata. B) Lacre aberto involuntariamente para fora da tampa:

bolwout.

Além de fatores internos, o fenômeno de *blowout* também possui fortes ligações atreladas a efeitos externos à tampa, recebendo ação da chamada corrosão sob tensão que tem seus efeitos potencializados quando em ambientes quentes e úmidos. A corrosão se dá na linha de corte da tampa da lata enfraquecendo o metal que auxiliado pela pressão interna de líquido, faz com haja rompimento prematuro do lacre (BCME, 2004).

Ainda de acordo com BCME (2004) o processo de corrosão é extremamente acelerado quando em presença de halogênios principalmente cloretos e sulfetos. O ataque corrosivo é preferencialmente na linha de corte porque ao receber essa marcação torna a superfície do metal mais fina.

Dentre as etapas de processo, as que mais podem interferir no aparecimento de processos corrosivos é no equipamento da etapa de aquecimento (*warmer*), pois nesse estágio as latas passam a receber calor gradativamente por atuação de *sprays* (esguichos) de água para reduzir a temperatura e evitar a condensação que deixa as latas úmidas, causando desajustes principalmente no empacotamento, deixando embalagens de papelão encharcadas ou dificultando a selagem em filmes, deixando os fora dos padrões atrativos de comercialização (BCME, 2004).

A BCME (2004) também enumera alguns cuidados que minimizam os efeitos de severidade de ataques corrosivos em tampas:

- Os *sprays* devem ser interligados com os transportadores de modo a impedir que as esteiras estejam em funcionamento quando o sistema de aquecimento apresentar falha;
- Utilizar lubrificantes nos transportadores que contenham formulação com baixos níveis de sulfatos e cloretos, que tenham sua aplicação controlada, de preferência temporizada para que não forme espuma em excesso;

- A água utilizada nos *sprays* durante o aquecimento deve apresentar pH entre 6 e 8. Os níveis de cloro não podem ultrapassar os 10 ppm e nem, sulfatos e nitratos serem maiores que 15 ppm;
- É indispensável também que a temperatura na saída do aquecedor seja superior ao ponto de orvalho;
- Dispor de secador na saída do sistema de aquecimento, para assegurar a eliminação de água residual, deixando as tampas isentas de umidade. Também deve ser intertravado ao transportador, a fim de que no aparecimento de problemas com o secador as esteiras permaneçam paradas.

BDSA (2001) salienta ainda, os cuidados com armazenamento dos produtos para serem organizados de forma que favoreça a circulação de ar e não recomenda o empilhamento por bloco. Os pacotes devem passar por inspeção e caso sejam encontrados evidências de vazamento ele precisa ser removido imediatamente. Todo o pacote deve ser desfeito e inutilizado, não podendo ser “salva” qualquer lata molhada ou com vestígios de escurecimento no anel, pois apresentam potencial elevado que desencadear processo de corrosão secundária. Trata-se de um fenômeno que gera o processo de corrosão como um “efeito dominó”, ou seja, uma lata inicia o processo corrosivo, compromete a estrutura do lacre, rompe-o e deixa o refrigerante, que também tem ação corrosiva exposto, e passa derramar e a entrar em contato com recipientes vizinhos levando a perda total dos blocos adjacentes e inferiores. Na figura 10 é possível observar esse efeito.

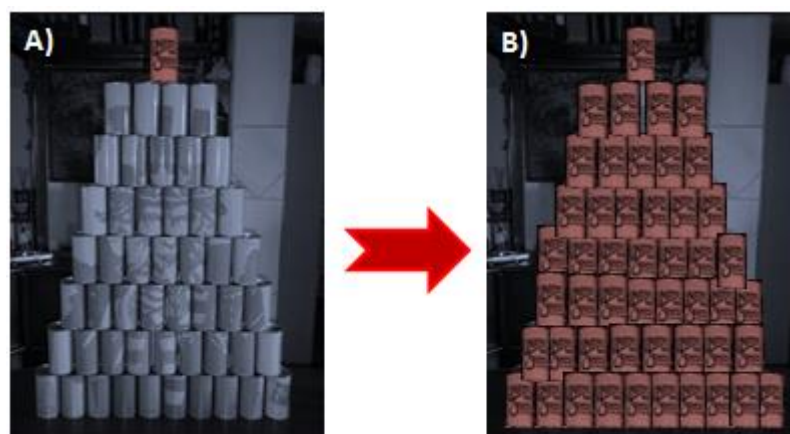


Figura 10: A) Representação de uma lata com *blowout* e B) Contaminação e perda de todas as latas subsequentes.

O *blowout* é um vilão silencioso e muito perigoso porque dependendo das condições às quais as latas estão submetidas, seus efeitos só são observados dias ou até mesmo meses após serem envasados (BCME, 2004). Normalmente, os refrigerantes são materiais de alto giro e por consequência, o

problema somente é detectado quando os produtos foram distribuídos ou mesmo, já se encontram disponíveis para venda, causando problemas à imagem do produto, reclamações e devoluções massivas às unidades produtoras, gerando altos prejuízos.

3.2 Análises de MEV e EDX

Muitos problemas, como os decorrentes de processos corrosivos, não podem ser observados em sua totalidade apenas de forma visual. Muitas vezes, a corrosão só é evidenciada quando já atingiu um estágio muito avançado e para auxiliar na prevenção e entendimento desse fenômeno, a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e microanálise de raios-X por Dispersão de Energia (EDX) se apresentam como aliadas valiosas.

A MEV teve seu desenvolvimento entre os anos de 1930 e 1940, permitindo obter imagens de objetos com resolução cerca de 105 ampliados em comparação ao que é limitado a enxergar ao olho humano, que é de até 0,1mm. No final dos anos 50, os primeiros aparelhos de MEV já se encontravam comercialmente disponíveis para venda (Schreiner, Melcher, & Uhler, 2006).

Os mesmos autores anteriormente citados, afirmam que mais tarde a análise de microscopia foi combinada à microanálise de raios-X por dispersão de energia, passando a detectar os elementos presentes nas amostras, até mesmo os mais leves como o carbono (C), nitrogênio (N) e o oxigênio (O), levando a economia no processamento de espectros de raios - X, melhorando o mapeamento e a imagem digital de micro domínios dos compostos.

4. APLICAÇÃO DO CICLO DO DMAIC

4.1 Caracterização do processo de produção de refrigerantes

A linha de produção em estudo trata-se da mais antiga na unidade fabril, o início de suas operações data do ano de 1968 operando em regime misto, ou seja, com envase de cerveja e refrigerante em embalagens metálicas de 350 ml e em meados do ano de 2002, com o advento de uma nova linha dedicada à cerveja passou a realizar apenas o enchimento de refrigerantes nos sabores cola, guaraná, guaraná diet, limão e laranja. O prazo de validade dos refrigerantes para consumo é de 9 meses, exceto para o do tipo cola que é de 4 meses.

As etapas de processo iniciam com a preparação da linha para receber o xarope composto a ser envasado, normalmente são necessárias 2 horas para realizar a assepsia interna e externa do equipamento de enchimento e da linha de distribuição da bebida para refrigerantes comuns e de 4 horas para preparação de linha para envase de refrigerantes do tipo *diet* (sem açúcar).

O funcionamento da linha é composto por 11 equipamentos distribuídos conforme a seguir:

- Despaletizadora – onde os paletes de latas vazias são recebidos e desmontados, de forma disponibilizar as latas para envase;
- Rinser – as latas passam por limpeza com água quente tratada;
- Proporcionalizador – recebe o xarope composto e realiza a mistura com água e gás carbônico de acordo com os parâmetros de cada refrigerante e também promove o resfriamento da bebida;
- Enchedora – realiza o enchimento da bebida carbonatada nas latas de alumínio;
- Recravadora – equipamento localizado imediatamente após a enchedora e realiza o fechamento das latas de refrigerantes;
- *Warmer* – é realizado aquecimento da bebida recebida fria da fase de enchimento para evitar condensação nas latas;
- Inspetor eletrônico – segrega latas com volume de enchimento fora das especificações;
- Datador – realiza a impressão da validade e dados da unidade produtora na embalagem;
- Empacotador – agrupa as latas de refrigerantes em pacotes de filme liso contendo 12 unidades;
- Paletizador – organiza os pacotes nos paletes para venda. Um palete é formado com 286 pacotes;

- Envolvedora – embala o palete com filme contrátil, para garantir a organização e evitar desprendimento das camadas durante manuseio e transporte.

Os postos que necessitam de operador durante o funcionamento da linha são a despaletizadora, enchedora, *warmer*, empacotadora, paletizadora e envolvedora, os demais precisam da atenção do operador apenas com algumas análises específicas ou para abastecimento de algum item. A capacidade nominal da linha é de 30000 latas/hora, trabalhando com uma turma de 9 operadores para realizar o revezamento, portanto, não conta com parada total para refeição e opera em horário comercial, o que pode ser alterado de acordo com a demanda de produto.

4.2 Etapa definir (*Define*)

4.2.1 Caracterização geral do problema

A unidade produtora de refrigerante é responsável por abastecer principalmente o mercado consumidor da região norte do Brasil. As devoluções de embalagens com problema de *blowout* tinham diversas origens, como revendas, centros de distribuição, supermercados, grandes redes e pequenos comerciantes em sua maioria de Manaus, mas também do interior do Estado do Amazonas e mesmo de estados vizinhos, dentre eles o Pará, Acre, Rondônia e Roraima em menores proporções, conforme destaque na figura 11.



Figura 11: Principais Estados com devolução de produtos com *blowout*.

Para a comercialização de refrigerantes são utilizados latas de alumínio, contendo volume de 350 ml e todos os produtos, independentemente do sabor, apresentavam problemas com rompimento involuntário das tampas quando já haviam sido distribuídos e/ou estavam nos pontos de venda, gerando a curto prazo prejuízos à empresa e clientes, além de profunda insatisfação por parte dos revendedores, principalmente por conta da desorganização gerada em seus estabelecimentos e, a médio prazo, enormes perdas relacionada à imagem do produto no mercado (ver figura 12).



Figura 12: Devoluções de mercado com problemas de *blowout*.

O início do trabalho se deu no mês de abril de 2016. A figura 13 representa o cenário de devoluções de mercado relativo ao primeiro quadrimestre do ano em quantidade de pacotes, sendo que cada pacote possui 12 unidades de latas de refrigerante e nele é possível observar a tendência crescente da quantidade de produtos retornados por *blowout*. Nos meses de março e abril, a quantidade devolvida foi bastante elevada por conta de problemas na emissão de notas fiscais, ocasionando atrasos nas devoluções à fábrica.

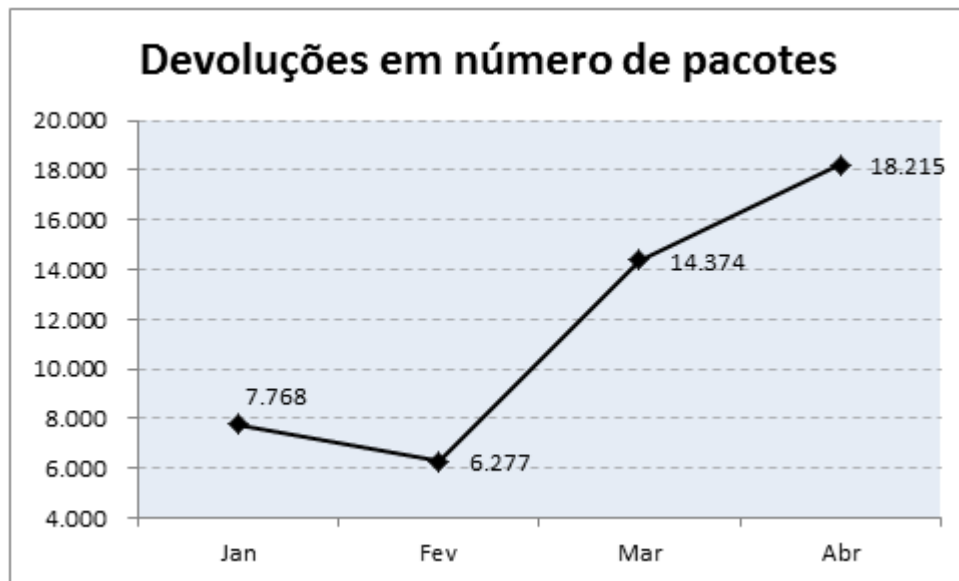


Figura 13: Quantidade de pacotes devolvidos de janeiro a abril de 2016.

4.2.2 Formação da equipe de trabalho

A partir do cenário apresentando, o primeiro passo na busca de encontrar soluções para reduzir os problemas de *blowout* foi criação da equipe multidisciplinar, composta por 9 elementos (mostrados na figura 14), escolhidos de forma a obter os diversos pontos de vista sobre o problema, abrangendo os principais campos de atuação sobre o processo.

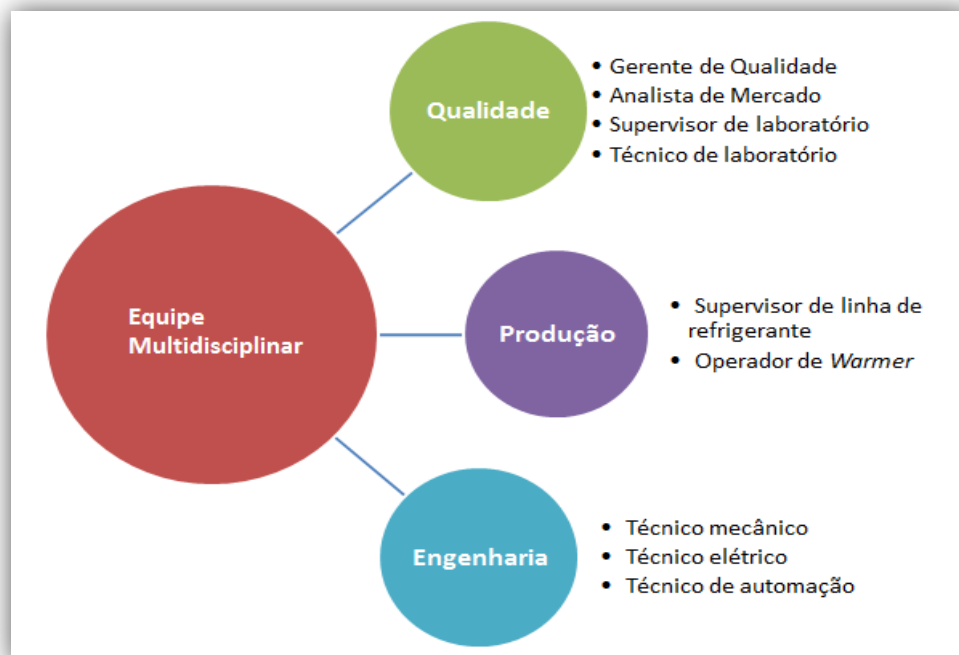


Figura 14: Composição da equipe multidisciplinar.

- **Gerente de qualidade** - auxilia na comunicação das principais ações para a garantia de qualidade e de investimentos em melhoria de processos;
- **Analista de mercado** - integrante que realiza as rondas nos mercados trazendo as demandas das revendas para unidade produtora é o principal responsável pelo gerenciamento da equipe e das ações decorrentes propostas;
- **Supervisor de laboratório** – atuando na verificação da qualidade, treinamento, modificações e realização de análises;
- **Técnico do laboratório** - realiza as análises gerais do equipamento *warmer*;
- **Supervisor de produção** - é o responsável da área e contribui com conhecimento da parte produtiva e informações adicionais de processo;
- **Operador de *Warmer*** - possui conhecimento técnico do equipamento e colabora com a identificação de desvios de operação;
- **Engenharia** - participação na atuação de falhas e melhorias de funcionamento dos equipamentos do processo produtivo.

As reuniões da equipe eram realizadas semanalmente para analisar a progressão dos trabalhos, podendo alguns itens terem acompanhamento diário, mas o reporte final da ação era sempre fechado nos encontros semanais. Mensalmente, era realizada a apresentação do andamento do trabalho à gestão de topo da empresa, coube ao gerente de qualidade a realização desse papel. O objetivo principal estabelecido foi o de alcançar uma redução de 50% no número de devoluções de mercado a ser atingido no prazo de 9 meses para o projeto.

4.3 Etapa de medição (*Measure*)

No intuito de conhecer melhor o problema com a abertura de tampas foi assumido pela equipe que era importante nesta fase a inclusão de uma análise mais profunda de sua estrutura a fim de assegurar que a hipótese de ser um problema do fornecedor das tampas e latas fosse descartada. Para isto, foram enviadas 68 amostras de tampas, sendo 25 com problemas de *blowout*, ou seja, já abertas e 43 de refrigerantes com tampas fechadas ao laboratório especializado: o Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA, onde foram submetidas aos métodos de MEV e de EDX. O exemplo dos dois tipos de amostras encontra-se destacado na figura 15, as setas em vermelho indicam as latas de refrigerantes com lacre rompido nos pacotes ainda intactos.



Figura 15: A) Representação de amostras de tampas com *blowout* e B) Tampas sem lacre rompido.

De acordo com o relatório do CETEA, as 43 amostras aparentemente sem indícios de *blowout* foram submetidas à análise visual preliminar e, das 43 amostras, 44% apresentaram pontos de corrosão, em ambos os semi-cortes, evidenciados também através da avaliação de imagens ampliadas obtidas por estereomicroscópio. Conforme a figura 16 é possível notar que a superfície das tampas analisadas apresentaram pontos de não conformidade pela presença de pequenos pontos de fissuras no metal.

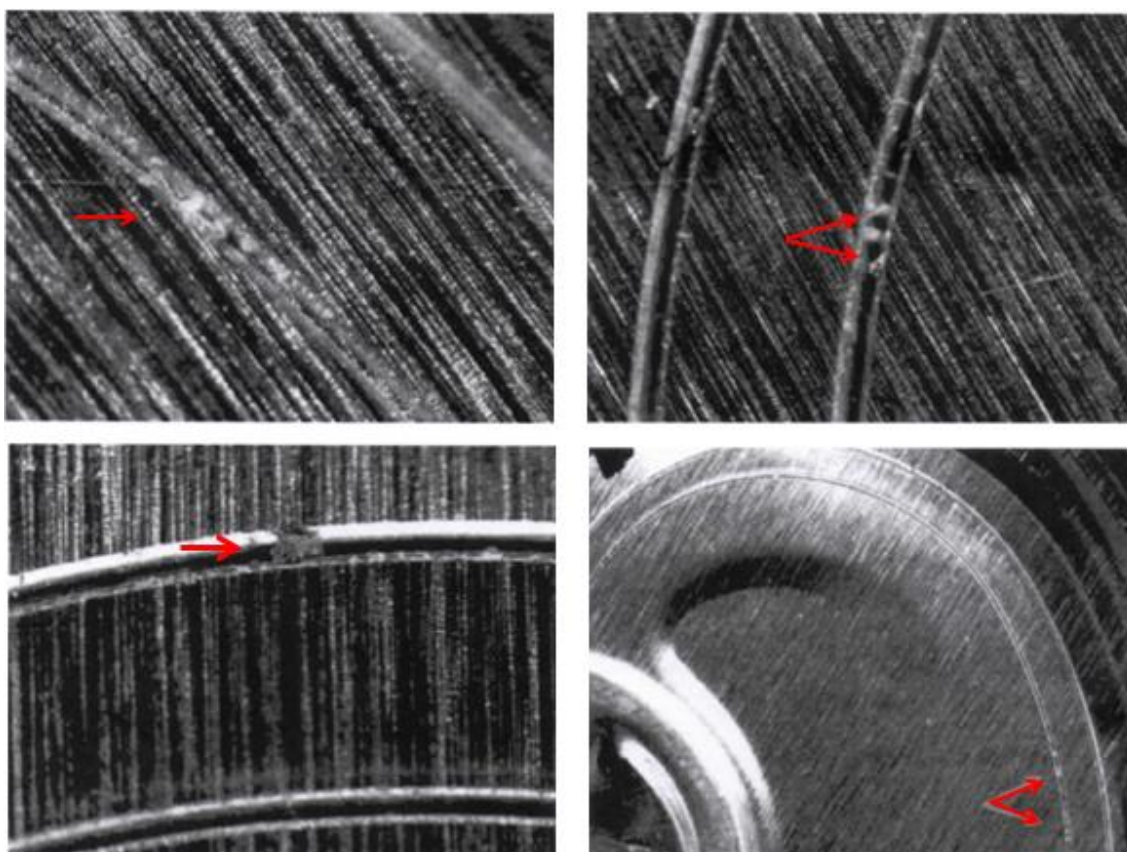


Figura 16: Evidências de corrosão na superfície do metal de tampas lacradas.

As 25 tampas enviadas com escotilha já rompida, quando submetidas ao MEV mostram uma morfologia típica de corrosão com propagação da face externa para face interna da tampa, muito característica de um tipo de corrosão chamada de transgranular, em acordo com Ascher (2007), que

define esta corrosão como fratura de superfície, apresentando normalmente fissuras secundárias, especialmente em junções ou descontinuidades, no caso das tampas de refrigerante são as linhas de corte.

Na figura 17, temos a formação transgranular apresentada na análise de MEV das amostras. Em estaque, mostra um arranjo com a parte superior mais larga e que vai afunilando em direção ao interior.

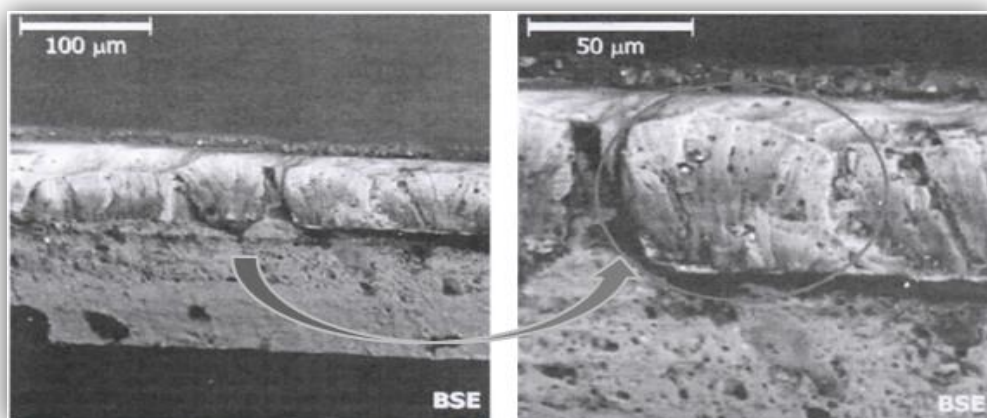


Figura 17: Evidências de corrosão transgranular nas latas com *blowout*.

As tampas enviadas sem *blowout* aparente foram realizadas a análise de MEV por seção de corte transversal do semi-corte, os resultados apontaram presença de corrosão, em todos os corpos de prova, mostrado na figura 18.

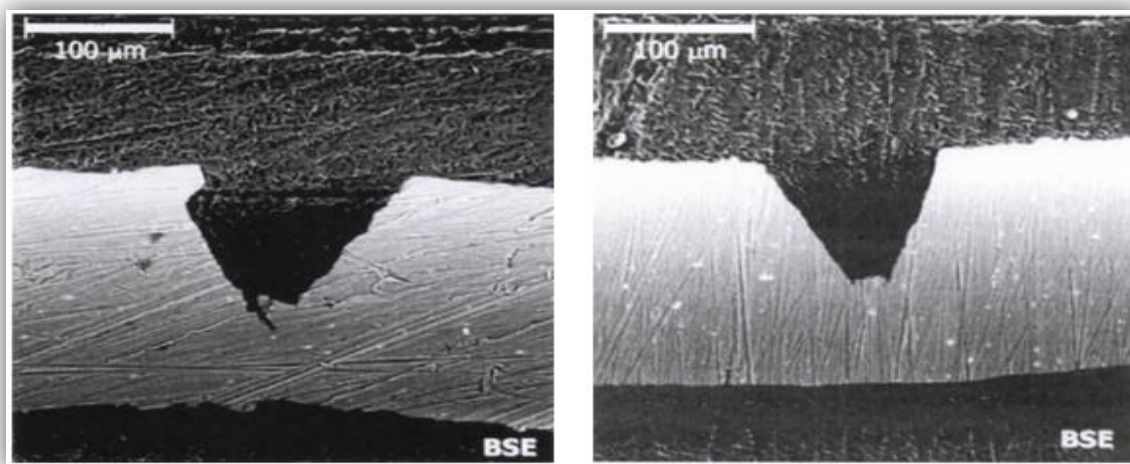


Figura 18: Corte transversal dos corpos de prova de tampas sem *blowout*.

Os espectros de microanálises indicaram a presença de elementos típicos à composição das tampas, como alumínio (Al), manganês (Mn), magnésio (Mg) e outros estranhos, como cloro (Cl), silício (Si), enxofre (S), cálcio (Ca) e potássio (K) que podem ser visualizados na figura 19.

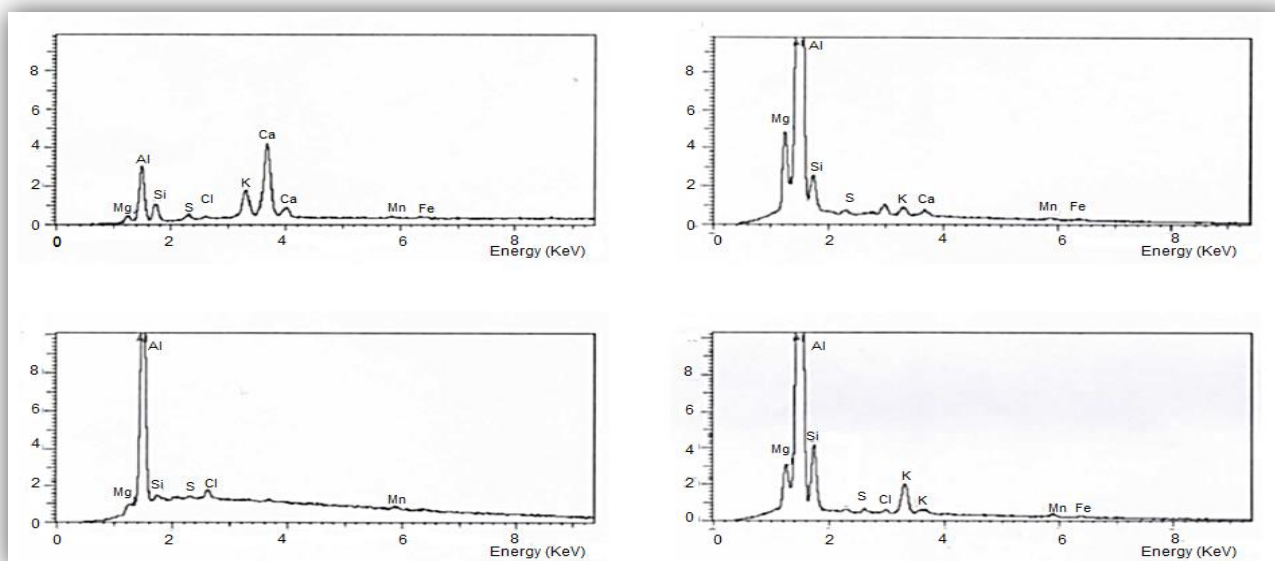


Figura 19: Espectros de microanálises de tampas de latas sem abertura do lacre.

Como visto no capítulo 2, a presença de haletos, especialmente o cloro, tem efeito significativo no desencadeamento de processos corrosivos das embalagens metálicas (BCME, 2004).

Após a avaliação relatório, foi possível indicar que mesmo tampas sem alterações aparentes estavam com processo de corrosão em desenvolvimento na superfície do metal e pelos resultados de microanálises, houve a constatação da presença de elementos estranhos à tampa indicando que o processo corrosivo fora provocado pela ação de fatores externos, fazendo com que o direcionamento das ações fosse apontado exclusivamente para itens do dentro do processo de envase da linha.

Em vista dos resultados obtidos pelas análises de tampa do laboratório, surgiu a necessidade de medição para avaliar os níveis de cloro e pH da água do *warmer*, além do tempo de permanência de latas no interior do equipamento.

4.3.1 Medições de cloro da água do *warmer*

Uma das formas pra realizar a medição de cloro é utilizando kits de análises que já possuem formulação de reagentes preparadas e em contato com a água produzem uma reação capaz de alterar a coloração da amostra de acordo com os níveis de cloro, desta forma é estabelecida uma correspondência visual que poder ser medida através de uma gradiente, neste caso, um disco de cores (Harp, 2002).

A análise de cloro é realizada pelo laboratório interno da unidade, utilizando-se o *kit* para análise do MERCK referência 21532 (figura 20) e os procedimentos e instruções indicados pelo fabricante, a frequência de medição é diária e os dados são registrados no *Manufacturing Execution System* (MES).



Figura 20: Kit MERCK para quantificação de cloro na água utilizada no Warmer.

O valor médio dos dados de concentração de cloro da água, em ppm, apontados no sistema relativos aos meses de janeiro a abril estão apresentados na tabela 4, para consultar os valores diários completo verificar no anexo I.

Tabela 4: Média dos valores de concentração de cloro da água por mês.

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR
Valor médio da concentração de cloro (ppm)	0,54	0,56	0,60	0,64

4.3.2 Medições de pH da água do *warmer*

A coleta era realizada todo início de produção e por algumas vezes na metade do turno. As amostras de água dos tanques do *warmer* eram levadas para o laboratório e analisadas. O aparelho utilizado foi o METTLER TOLEDO, apresentado na figura 21.



Figura 21: Aparelho para medição de pH.

A coleta era realizada diretamente nos tanques utilizando-se um béquer de 100 ml, preenchendo cerca de 70% de seu volume. A amostra, caso necessário, era resfriada até chegar à temperatura de 20°C, medição realizada com termômetro graduado.

Realizados os tratamentos na amostra, o eletrodo do aparelho era submerso no béquer e a leitura obtida diretamente no visor do equipamento.

Os valores também eram digitados no MES. Os resultados médios das análises de pH da água dos tanques do *warmer* dos meses de janeiro a abril são mostrados na tabela 5, para dados completos de valores diários, consultar o anexo II.

Tabela 5: Valores médios mensais do pH da água do *warmer*.

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR
Valor médio do pH da água do <i>warmer</i>	6,14	5,48	6,46	6,18

4.3.3 Medições de tempo de permanência de latas no *warmer*

O tempo necessário para que as latas passassem pelo sistema de aquecimento de acordo com as especificações do manual do fabricante era de aproximadamente 1h.

Tempos adicionais eram computados como excedente, medidos em cronômetro digital e os resultados alimentavam o sistema oficial *Manufacturing Execution System* – MES para que se mantivesse um histórico do monitoramento.

As medições foram realizadas pelo período de uma semana e os resultados são apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Tempo total de permanência de latas no interior do *warmer*.

Tempo de Permanência de Latas no <i>Warmer</i> (h)						
Dia	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab
Tempo de permanência total (h)	17,0	17,5	1,0	16,5	17,5	17,0

4.4 Etapa de análise (*Analysis*)

Para melhor compreensão do problema foi realizado pela equipe uma sessão de *Brainstorming* para realizar o levantamento das possíveis causas no aparecimento de *blowout* de tampas no mercado.

Cada membro teve livre iniciativa para expor suas ideias segundo sua percepção do problema e contribuindo de acordo com o ponto de vista da experiência profissional dentro da unidade produtora e desta forma, cobrir o maior número de causas prováveis por diferentes ângulos. As ideias foram organizadas sob a forma do diagrama de *Ishikawa* para oferecer uma visão geral do problema. O resultado final é apresentado na figura 22.

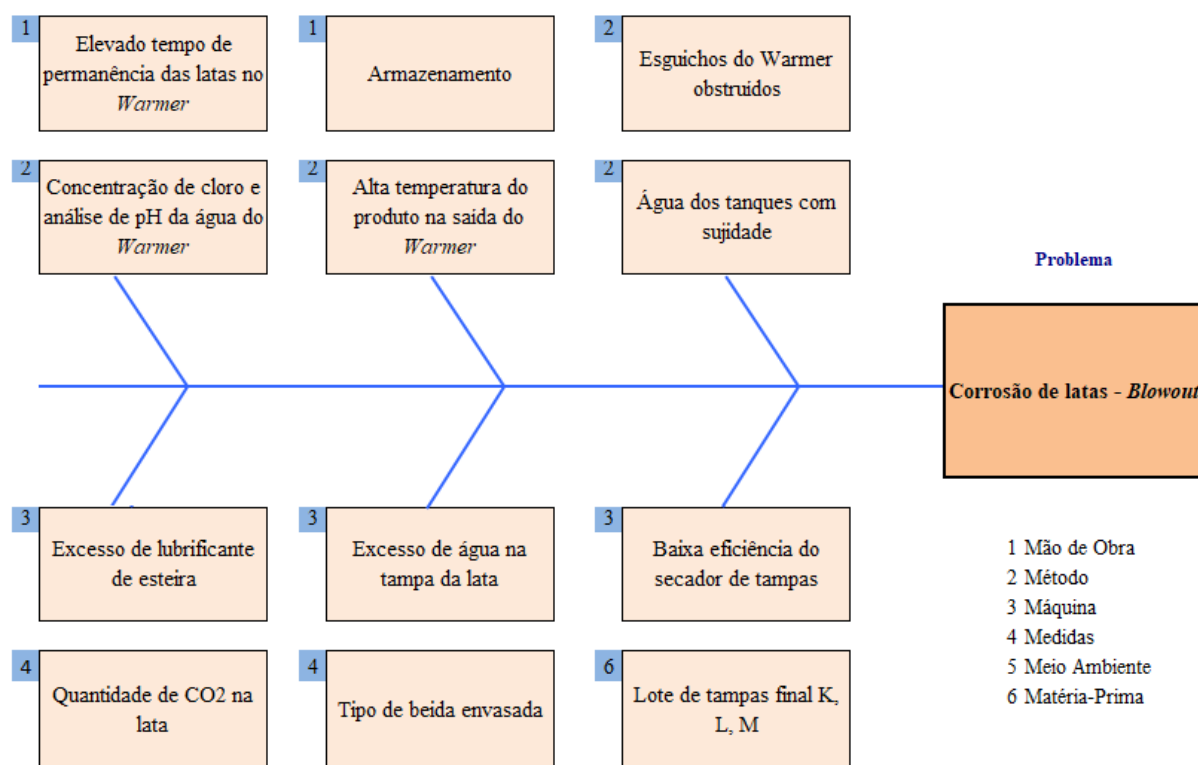


Figura 22: Diagrama de *Ishikawa* com possíveis causas de *blowout* a partir do *Brainstorming*.

A partir do diagrama de causa e efeito, foi utilizada a matriz de priorização, empregada para estabelecer uma ordem de importância relativa para cada item ao qual foi aplicado. O grau de importância é conseguido atribuindo-se um valor de impacto que a atividade exerce em determinados critérios, como impacto sobre o resultado, autoridade sobre a causa, dificuldade de eliminar, e frequência de ocorrência que foram os itens avaliados neste trabalho. Os valores atribuídos a cada item estão estabelecidos na tabela 7.

Tabela 7: Matriz de priorização utilizada estabelecer critérios de ordem de importância.

CRITÉRIO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
	1	3	5
IMPACTO SOBRE O RESULTADO	baixo impacto sobre o resultado	médio impacto sobre o resultado	alto impacto sobre o resultado
AUTORIDADE SOBRE A CAUSA	sem autoridade	alguma autoridade	autoridade total
DIFICULDADE DE ELIMINAR	difícil de eliminar	dificuldade mediana	fácil de eliminar
FREQUÊNCIA	baixa frequência	frequência mediana	frequência elevada

Cada uma das causas possíveis passou por uma votação da equipe, através da atribuição de notas de 1, 3 ou 5, sendo 1 para as causas com baixo impacto, 3 para médio e 5 para alto, avaliando os itens de impacto sobre o resultado, autoridade sobre a causa, dificuldade de eliminar e frequência de ocorrência. Era discutido pelos membros do grupo o quanto cada uma das causas impactava na corrosão das latas.

Desta forma para a causa “água dos tanques com sujeidade”, foi atribuído valor 5 para o peso que ele exercia sobre o problema, 5 para o quesito autoridade, por se tratar de algo dentro da autonomia dos participantes, 5 para o quesito dificuldade, porque envolvia a retirada dos esguichos e outras manutenção de risco e 5 para frequência, já que era “comum” observar sujeidade na água do *warmer*. Ao término, os valores de cada quesito eram multiplicados entre si gerando um peso final, e neste exemplo o peso final foi de 625. Na tabela 8 são apresentados os pesos finais para todas as possíveis causas.

Tabela 8: Possíveis causas e influência da causa no problema.

Item	Possíveis Causas	Impacto sobre o problema	Autoridade sobre a causa	Dificuldade	Frequência	Total
1	Água dos tanques com sujidade	5	5	5	5	625
2	Concentração de cloro e análise de pH na água do warmer	5	5	5	3	375
3	Esguichos do <i>warmer</i> obstruídos	5	5	3	5	375
4	Elevado tempo de permanência de latas no <i>warmer</i>	5	3	3	5	225
5	Alta temperatura do produto na saída do <i>warmer</i>	5	3	3	5	225
6	Excesso de água na tampa da lata	5	3	3	5	225
7	Baixa eficiência do secado de tampas	5	3	3	5	225
8	Excesso de lubrificante de esteira	5	5	5	1	125
9	Quantidade de CO ₂ na lata	5	5	1	3	75
10	Armazenamento	5	1	3	5	75
11	Tipo de bebida envasada	5	5	1	1	25
12	Lotes de tampas com problemas	5	1	1	3	15

A partir de um consenso da equipe foi determinado que seriam priorizados os itens com valores superiores a 225 pontos, por representarem o maior peso nos itens de impacto sobre o problema.

4.4.1 Análise em campo

Pelas ações apontadas com potencial para solução dos problemas de *blowout* pela triagem da tabela 8, alguns itens precisaram de análise em campo. O primeiro item é designado como “água dos tanques com sujidade”, neste caso, era “comum” observar sujidade na água dos tanques e telas com acúmulo de resíduos, como pode ser observado na figura 23.



Figura 23: Tanques do *warmer* com sujidade.

Com base nas observações em campo, foi verificado que essa sujidade causava o bloqueio dos furos da tela e a partir disso, a água que antes atravessava a tela e retinha os resíduos tomava um novo curso, passando por cima da estrutura da tela levando consigo os resíduos para o interior do equipamento.

O *warmer* funciona basicamente em ciclo fechado, ou seja, uma vez que o equipamento recebe a água da rede de abastecimento ela aquece no *warmer*, vai para a torre de resfriamento e retorna para o *warmer*, com pequenas reposições da rede durante a produção, caso necessário. Desta forma, a limpeza dos tanques e telas só ocorria quando o equipamento parava para realização de manutenções, que possuíam frequências quinzenais. Isso indicou uma falha nos procedimentos de limpeza e manutenção do equipamento que precisavam ser corrigidos.

A água que transbordava pelas telas iam para os esguichos do equipamento causando sua obstrução (item 3 da tabela 8). Com os esguichos sem passagem ou com passagem reduzida de água ocasionava a ineficiência dos sprays, diminuindo a vazão de água de resfriamento gerando superaquecimento do produto.

Como retratado no capítulo 3 por DeWeese, *et al.* (2008), o aquecimento da bebida faz com que haja desprendimento do CO₂ presente no refrigerante elevando a pressão interna da lata, auxiliando no processo da abertura do lacre.

Em análise das ordens de manutenção do equipamento não havia nenhuma específica para limpeza ou manutenção dos esguichos, apenas a circulação com aditivos (biocidas e anticorrosivos) e como era observada sujidade, vestígios de micro-organismos e obstrução, concluiu-se que havia saturação do sistema de circulação e devido aos pontos de obstrução, os aditivos não chegavam a todos os pontos necessários. A figura 24 mostra o interior do *warmer*, onde as setas amarelas apontam para áreas de

sujidade e a seta vermelha indica a baixa vazão de água no equipamento, o que levava ao aparecimento de outro item da tabela 8 que era “alta temperatura do produto na saída”.

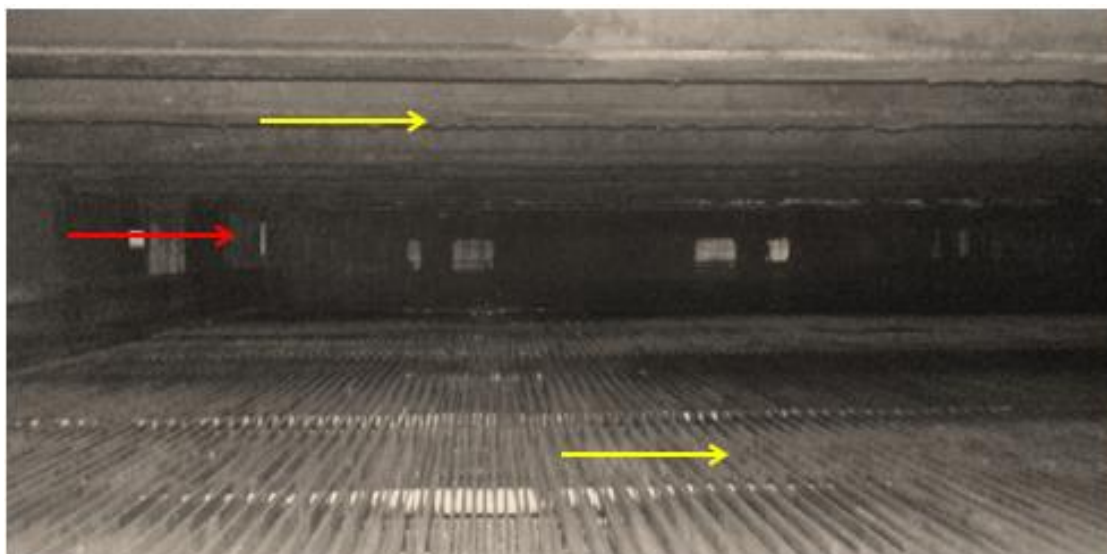


Figura 24: Interior do *warmer* com sujidade e baixa vazão de água.

O segundo item a ser analisado é relativo ao fabricante de latas e tampas, na qual amostras foram levadas ao laboratório externo especializado e os resultados apontaram contaminação por agentes externos do processo que estariam fragilizando o lacre do anel através do processo de corrosão que levava ao seu rompimento, descartando a hipótese do problema de tampas ser de origem do fornecedor. Com isso, foram inseridos dois pontos de análise: cloro e pH da água do *warmer*, com resultados apresentados anteriormente nas tabelas 4 e 5.

Após o recebimento do relatório do CETEA, muitas das atenções se voltaram para as análises de dosagem de cloro, passando a ser apontado como causa chave para dos problemas de *blowout*. A média dos registros dos valores diários obtida ao final de cada mês é mostrado no gráfico da figura 25.

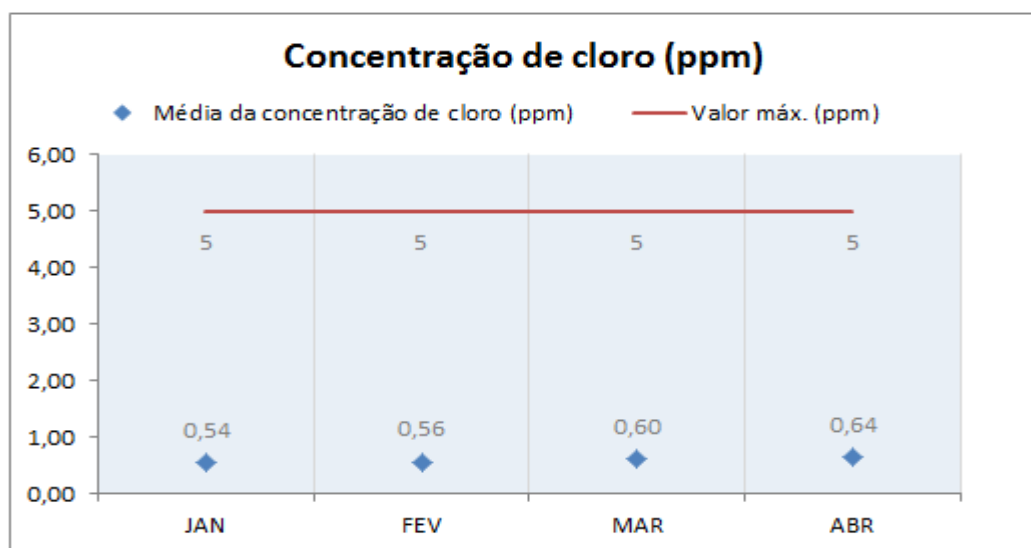


Figura 25: Gráfico de valores médios de cloro de janeiro a abril.

No entanto, ao se realizar a verificação dos dados digitados no MES para os meses de janeiro, fevereiro, março e abril foi constatado que os níveis de cloro estavam bastante controlados, uma vez que segundo BCME (2004), para os efeitos do cloro apresentam graus de severidade deveriam estar acima de 10 ppm e de 5ppm, pelos parâmetros internos da fábrica produtora, e nos resultados da figura 25, em média, os valores encontrados estavam abaixo de 1 ppm, longe do limite considerado crítico. Em vista disso, foi estabelecido pela equipe multidisciplinar a revisão do padrão de análise de cloro e treinamento de reciclagem para checar se os procedimentos estavam sendo realizados corretamente e assegurar a confiabilidade dos dados.

Outro ponto avaliado no item de 3 da tabela 8 foi o pH e as investigações iniciais acerca desse item mostraram uma falha grave em sua execução, pois a análise e ajuste de pH eram realizados por empresa terceira, responsável pela dosagem de aditivos no sistema do *warmer*. Neste caso, seus técnicos realizavam a coleta de água, mas os resultados só eram obtidos no dia posterior, devido o ensaio ser realizado em sua sede, ou seja, o técnico da empresa terceira coletava a água, leva para o laboratório base da empresa e apenas no dia seguinte, ao retorna a unidade refrigeranteira realizava o ajuste da água do *warmer*. Por contrato, a empresa deveria ter um micro laboratório para realizar estas análises na própria fábrica de refrigerante, sem sair com amostras para análise externa, mas estava em atraso com o cumprimento deste item.

O valor ótimo de pH da água dos tanques deveria estar entre $7,0 \pm 0,5$ e risco associado a essa prática exercida pela empresa terceira era da correção tardia desse parâmetro, porque quando seu valor estivesse fora do especificado, a correção só seria efetuada cerca de 24h depois. É possível verificar na figura 26 de acordo com os dados de janeiro a abril a presença dos valores fora dos limites estabelecidos para a unidade.

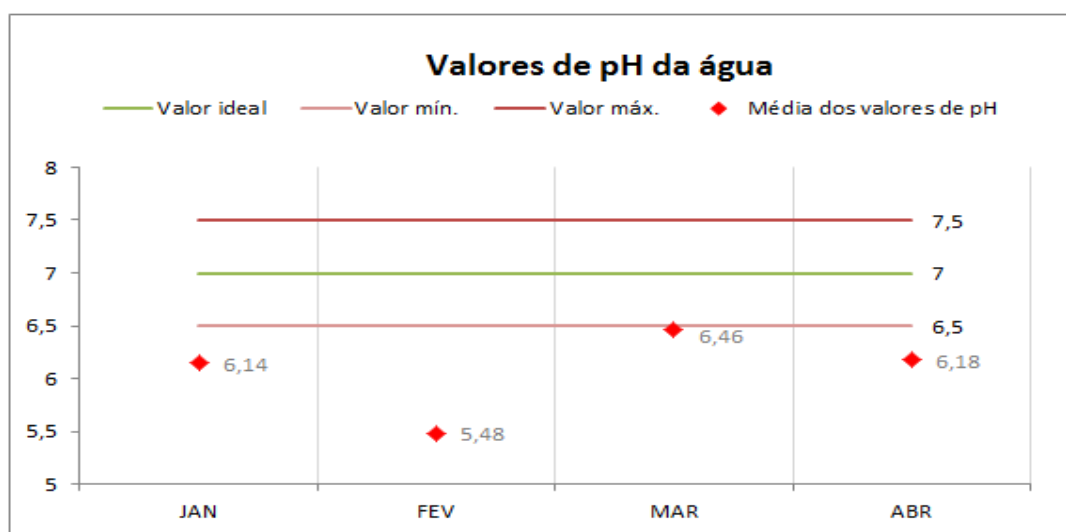


Figura 26: Valores médios de pH da água dos tanques.

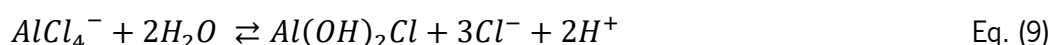
Codaro (2006), em sua abordagem, discorre sobre os efeitos de agentes corrosivos, entre eles o cloreto de sódio, em diferentes tipos de ligas de alumínio. Em seus ensaios, verificou que ligas submetidas a meios fortemente ácidos ou fortemente básicos mostraram altos graus de dissolução, pois o filme de óxido passivo que se forma na superfície do metal é solúvel quando em presença desses meios e, portanto, essa proteção natural é eliminada de imediato.

As equações de equilíbrio químico para pH básico (entre 8 e 14) e ácido (1 e 6), respectivamente, são apresentados a seguir:



Desta forma, verifica-se que o aumento do pH provoca a diminuição da solubilização dos íons Al^{3+} , deslocando o equilíbrio químico no sentido da formação do precipitado sob a forma de $Al(OH)_3$. (Codaro, 2006).

Ainda de acordo com Codaro (2006), para meios de pH ácidos, as equações são:



As equações de 7 a 9, mostram que para pH baixos, a concentração dos íons cloretos aumenta provocando a elevação do número da formação do sal precipitado.

Na equação 8, verifica-se a formação dos íons cloreto intermediário para a formação do sal, o mesmo que foi evidenciado por EDX relatório do CETEA. Codaro (2006) afirma também que os efeitos corrosivos são minimizados quanto mais o pH for próximo de 7 (pH neutro) e observando as médias mês a mês pela figura 26, é possível verificar que valores estão abaixo da faixa de pH, de forma a concluir que, apesar das concentrações de cloro não terem se apresentado com potencial dano corrosivo, encontrou em meio a falta de controle de pH dos meses iniciais o caminho para promover o ataque corrosivo ao metal da tampa.

Outro ponto destacado foi o item “elevado tempo de permanência de latas no *warmer*”. Com acompanhamento da linha por uma semana foram coletados os dados a tabela 6, na qual foram computadas as paradas diversas que impactavam em um tempo de retenção de latas no interior do

warmer acima de 1 hora, tempo que as latas deveriam levar para atravessar por completo a extensão do equipamento, conforme manual do fabricante.

Os tempos registrados eram problemas com quebra de maquinário, atraso na partida de linha e o maior impacto ficavam por conta da produção ficar no equipamento de um dia para o outro, cerca de 14h.

Para entender esse problema foi analisada a escala de trabalho e partida de linha após relatos dos operadores durante as reuniões da equipe multidisciplinar. O estado atual do problema é retratado na tabela 9.

Tabela 9: Escala operacional inicial da linha de produção de refrigerante.

Equipamento	Nº Ope	06:00	07:00	Comercial									
				08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Esterelização	1												
DPL	1												
ECH	1												
Warmer	1												
EPC	2												
PAL	2												
ENV	1												

Pela tabela 9, observa-se que a partida efetiva da linha de produção só tinha seu início às 10h e que a operação das máquinas iniciais, DPL e ECH só ficavam em atividade até às 15h. As máquinas do *warmer*, EPC, PAL e ENV, só entravam em atividade cerca de 3h após o início do turno de trabalho, devido aos preparativos de esterilização e carregamento da linha.

Desta forma, por muitas vezes, não era possível finalizar a produção no mesmo dia e para não estender o horário de trabalho da operação, a linha era mantida com o produto até o dia seguinte e essas 3h iniciais das máquinas finais tidas “como sem atividade”, passaram a servir sempre para finalizar a produção do dia anterior, tornando-se uma prática “comum” na linha.

No entanto, esse tempo de exposição prolongado dentro do *warmer*, associado à falta ajuste de aditivos e controle de pH, passou a apresentar escurecimento do metal (processo corrosivo) em artigos com pouco tempo de produção e aparecimento de bolores, como os da figura 27.



Figura 27: Latas com metal escurecido e com presença de bolores.

Os ultimos itens (relativo aos itens 6 e 7 da tabela 8) foram o de “excesso de água na tampada lata”, visível na figura 28, devido a baixa “eficiência do secador” de tampas e necessidade de manutenções corretivas no equipamento. De acordo com BCME (2004), as latas não devem apresentar água residual após a passagem pelo *warmer*, a fim de não acarretar no aparecimento da corrosão do metal.



Figura 28: Tampas com água residual na tampa.

4.5 Etapa de melhoria (*Improve*)

Os pontos analisados como chave para o aparecimento de corrosão nas tampas metálicas levaram a formação de um plano de ação, organizado sob a forma do 5W1H para facilitar o acompanhamento das ações nas reuniões semanais. O resumo dessas ações está listado na tabela 10.

Tabela 10: Plano de ação de melhorias 5W1H.

Plano de Ação de Melhorias						
Item	Ação	Onde?	Por quê?	Como?	Responsável	Data limite
1	Realizar limpeza dos tanques e telas do <i>warmer</i>	<i>Warmer</i>	Presença de sujeira ocasionando obstrução dos esguichos	Procedimento indicado pelo manual do fabricante	Operador do warmer	15/04
2/5	Retirar esguichos para limpeza e desobstrução dos <i>sprays</i>	<i>Warmer</i>	Sprays dos esguichos obstruídos causando baixa vazão de água e aquecimento	Procedimento indicado pelo manual do fabricante	Operador do warmer	15/04
3	Realizar treinamento e <i>check</i> do padrão de dosagem de cloro	Estação de Tratamento de Água (ETA)	Confiabilidade de dados	Padrão corporativo	Supervisor de Laboratório	30/04
3	Realizar análise de pH na unidade produtora	Laboratório da linha de refrigerante	Demora na análise da empresa terceira	Disponibilizando pH de bancada	Supervisor de laboratório	30/04
4	Ajustar escala operacional e de partida de linha	Linha de envase	Elevado tempo de retenção de latas no <i>warmer</i>	Sistema de ponto	Supervisor de linha	30/04
6/7	Realizar manutenções corretivas do secador	Secador de tampas	Secador com baixa eficiência	Comprar de material portal local	Engenharia	15/04
6/7	Aumentar número de pontos de secagem	Linha de envase	Latas com água residual	Comprar de material portal local	Engenharia	15/04

O tempo máximo para realização das ações foi de 15 dias relativos ao final do mês de abril na qual a linha permaneceu sem produtividade cumulando com a parada já prevista no calendário anual da fábrica.

4.6 Etapa de controle (*Controle*)

Muitas das atividades de limpeza e organização do equipamento eram realizadas de maneira esporádica e a operação não sabia muito bem a maneira correta para realiza-las. Em vista disso, com a realização dos trabalhos os procedimentos foram padronizados dando origem a uma lista de atividades de 5S para o posto de trabalho (tabela 11), de modo que fosse possível saber quais, quando e como cada atividade deveria ser feita, estabelecendo uma rotina na execução.

Tabela 11: Lista de atividades de 5S do *warmer*.

CheckList de Limpeza <i>Warmer</i>		MÊS _____	Validação Supervisor de Linha _____			
Item	Pontos Críticos	Localização	Nº de Pontos	Frequência	Método de Limpeza	Condição da máquina
1	Portas de entrada e saída	Warmer Refri	16	Quinzenal	Utilizar esponja, sabão e escova	Parada
2	Esteiras dos transportes de entrada e saída	Warmer Refri	N	Quinzenal	Utilizar esponja, sabão e escova	Parada
3	Bandejas do transportes de entrada e saída	Warmer Refri	N	Turno	Utilizar esponja, sabão e escova	Rodando
4	Telas dos tanques	Warmer Refri	18	Turno	Espuma ácida	Rodando
5	Esguichos	Warmer Refri	120	Quinzenal	Fluxograma de limpeza <i>Warmer</i>	Parada

A limpeza dos esguichos do *warmer*, por serem de natureza um pouco mais complexa, por se tratarem de tubos longos e pesados, precisou ser acompanhado pelo time de segurança para minimizar os riscos relacionados a atividade.

O passo-a-passo para a sequência de tarefas a serem realizadas para desobstruir os esguichos do *warmer* estão organizadas no fluxograma da figura 29.

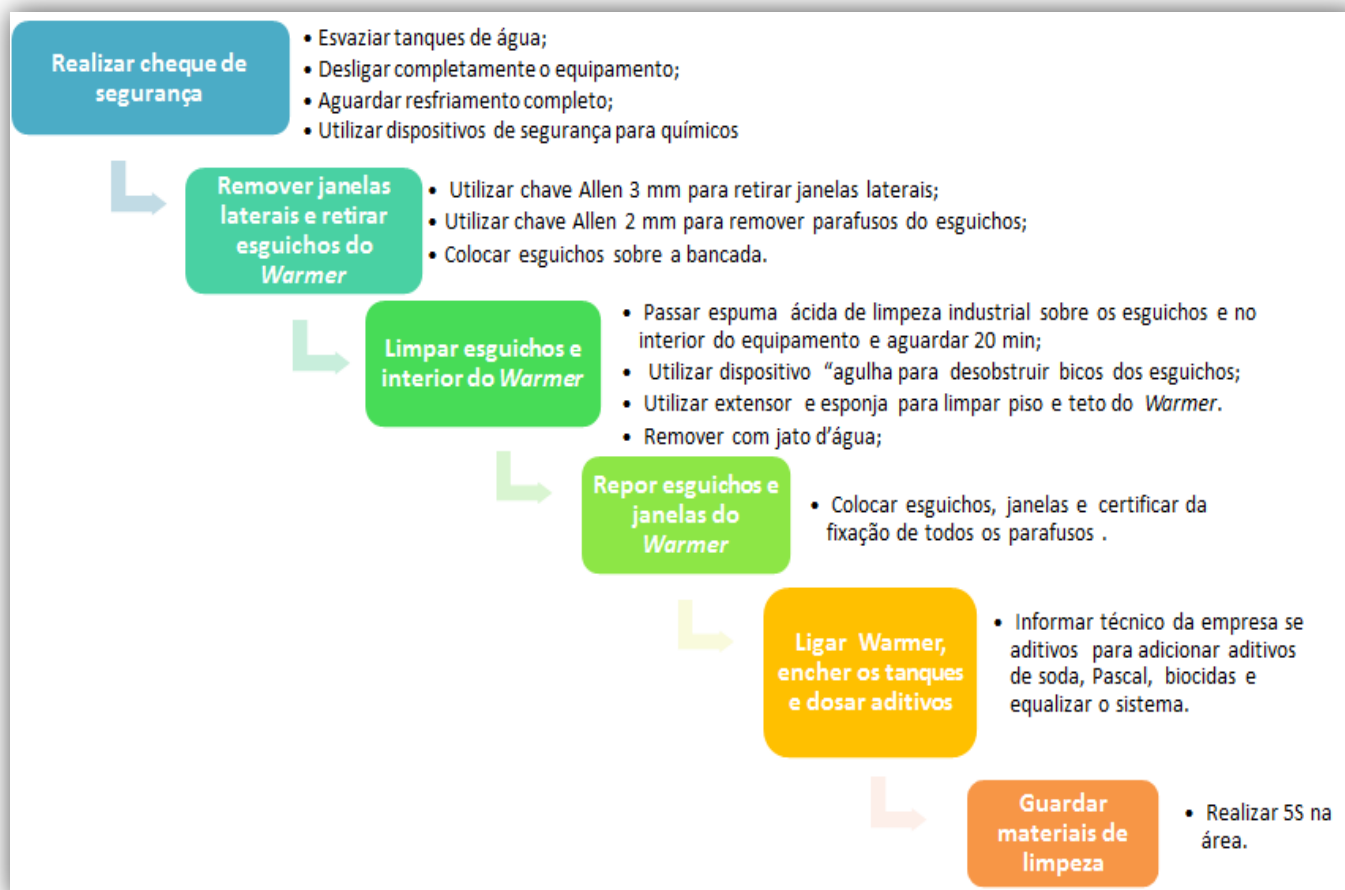


Figura 29: Fluxograma para realização da atividade de limpeza do warmer.

5. RESULTADOS

As ações traçadas passaram a ser implementadas, sendo as primeiras relativas às atividades de limpeza dos tanques e telas, que pode ser visto no antes e depois na figura 30.



Figura 30: Antes de depois limpeza dos tanques e telas de água do *warmer*.

Foi realizada em paralelo a atividade de retirada dos esguichos e limpeza interna do equipamento, conforme pode ser observado na figura 31, sendo a primeira foto de antes de realizar a limpeza onde se verifica limo na parte superior e inferior do equipamento, sinalizado pelas setas amarelas, a baixa pressão interna de água, indicado pela seta vermelha, e o depois onde é visível o aumento na vazão de água no interior do equipamento e limpeza geral, melhorando a ação dos esguichos, fazendo com que as latas deixassem de sair aquecidas. Ao lado são os esguichos retirados para limpeza individual e desobstrução.

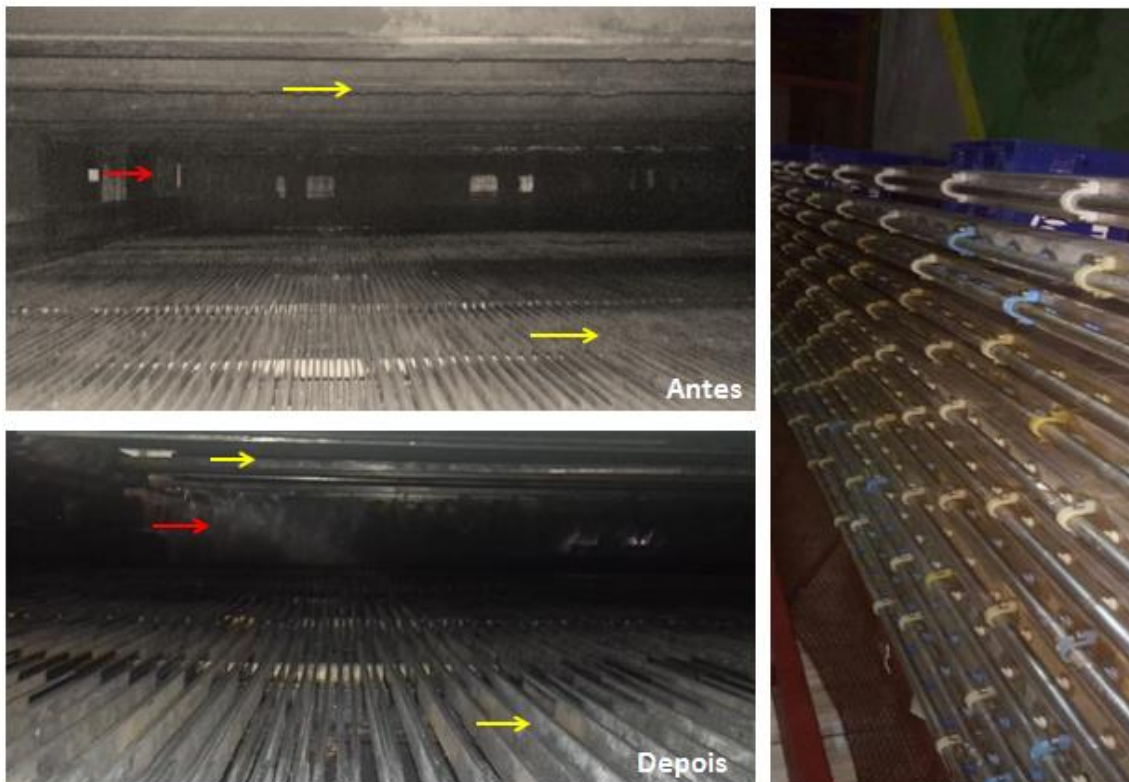


Figura 31: Antes e depois da retirada dos esguichos e limpeza interna do equipamento.

As análises de cloro foram acompanhadas pelo supervisor do laboratório durante o período de uma semana, após serem verificados os procedimentos e realizado o treinamento. Não foram observados desvios ou falhas de procedimento pelos técnicos validando os resultados obtidos. Na figura 32 estão reunidos os resultados das análises de cloro para o período total da realização do trabalho. Os resultados de cloro se mostraram controlados dentro dos limites estabelecidos na unidade.

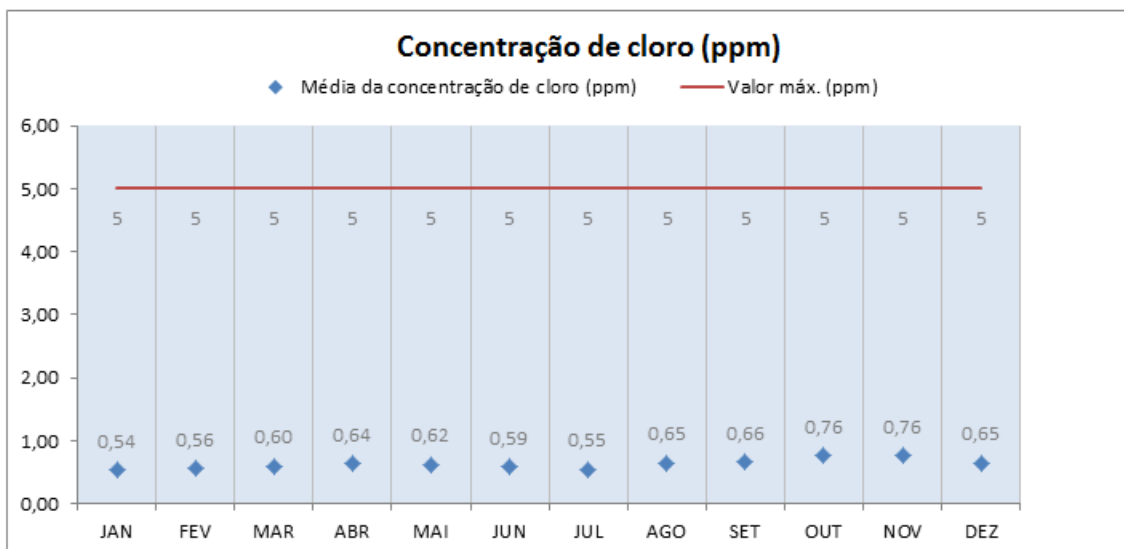


Figura 32: Valores das concentrações médias de cloro na água.

O segundo ponto avaliado do item 3 foi o pH. De acordo com as análises, havia um total descontrole das análises de pH, com valores de pH ácido fora do padrão e para agilizar o a correção para um pH

ótimo durante a linha estar em funcionamento, foi disponibilizado um pHmetro e as análises passaram a ser feitas no laboratório da unidade e desta forma a correção de pH pela empresa terceira era imediata no processo. A análise era realizada apenas uma vez ao dia, passou para duas em dias, salvo quando o volume de produção era reduzido. Os dados das médias dos valores de pH dos meses estão na figura 33.

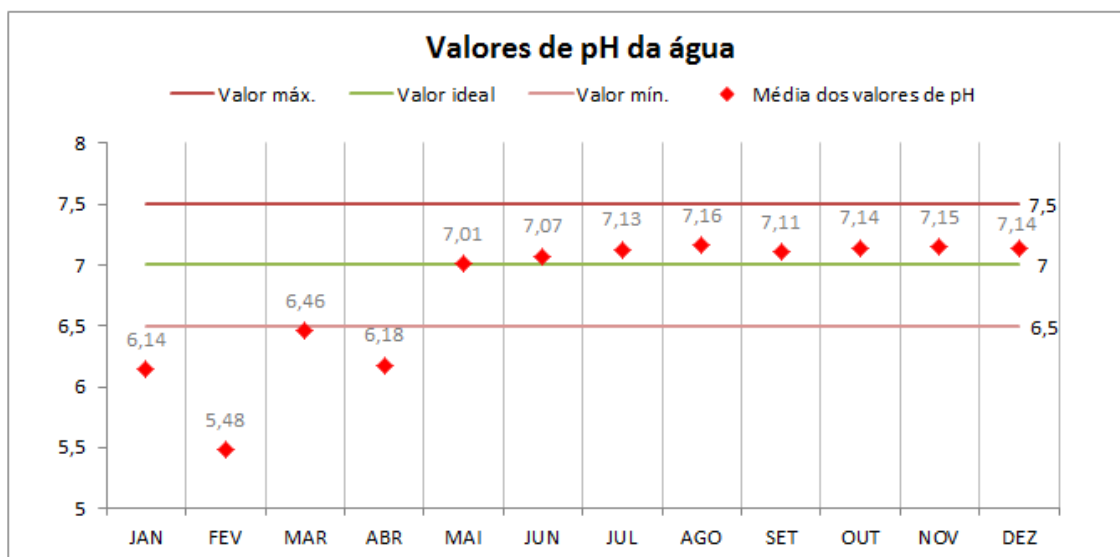


Figura 33: Dados de pH de janeiro a dezembro de 2016.

A correção de pH imediata estabeleceu os valores dentro da faixa especificada e próximos do pH 7, apontado como valor ideal de trabalho.

O próximo passo foi minimizar os efeitos do tempo que permanência de latas no *warmer*, pois as embalagens ficavam expostas à água do *warmer* por tempo prolongado favorecendo a ação dos agentes corrosivos. Na tabela 12 apresenta a escala de operação e partida de linha após ajustes.

Tabela 12: Ajuste da programação de escala operacional e partida de linha.

		Turno 1												
		Comercial												
		Horário Especial												
Equipamento	Nº Ope	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Esterelização	1													
DPL	1													
ECH	1													
Warmer	1													
EPC	2													
PAL	2													
ENV	1													

Para corrigir os efeitos do tempo prolongado das embalagens aos agentes corrosivos presentes no *warmer* devido aos produtos permanecerem na linha de um dia para o outro a equipe foi organizada em três escalas. A de primeiro turno com chegada às 06h e saída às 14h, a do turno comercial de 8h

às 17h e de horário especial, iniciando às 09h com saída às 18h. Isto permitiu que a produção do dia fosse finalizada por completo, ou seja, tudo que era produzido era entregue ao armazém, sem deixar nada na linha.

Do tempo total de permanência de latas no interior do equipamento o que era referente a passagem de produto de um dia para o outro era cerca de 14h, representado na tabela 12 como “fora de produção”, com a eliminação desse tempo, o tempo final de permanência de latas passou a ser por volta de 2,5h referentes a paradas por falhas de equipamentos do processo.

Tabela 13: Tempo em produção e em espera no interior do *Warmer*

Tempo de Permanência de Latas no Warmer (h)						
	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab
Total	17,0	17,5	1,0	16,5	17,5	17,0
Fora de produção	14,0	16,0	0,0	14,0	14,0	14,0
Final	3,0	1,5	1,0	2,5	3,5	3,0

Se compararmos a tabela 9 com a tabela 12, verifica-se que o ajuste na escala proporcionou não só a redução no tempo de exposição de tampas aos intemperes do *warmer*, mas levou a um aumento no número de artigos produzidos. A produção é medida pela quantidade de produto envasado na enchedora, desta forma, quanto maior a quantidade de horas rodadas desse equipamento, maior o volume de produção. Pela tabela 9, relativo de tempo em produção da ECH era de 10h às 15h, cerca de 5h de disponibilidade de produção e após os ajustes (tabela 12) passou para trabalhar de 08h às 16h levando para quase 8h o tempo total de máquina disponível para produzir.

A última etapa foi realizar as manutenções do secador que apresentava baixa eficiência e após avaliação por parte do time de engenharia, foram levantados os passivos e peças, limpeza e manutenção geral do equipamento, promovendo um despenho do secador e proporcionando a inserção de novos pontos de secagem. Na figura 34 as setas em amarelo correspondem ao 3 novos pontos e a seta vermelha representa o ponto existente anteriormente.



Figura 34: Instalação de três novos pontos de secagem de tampas.

A partir dessas ações foi possível observar que as latas passaram a não apresentar mais gotículas em sua superfície e, portanto, que ação foi eficiente no combate a essa ao efeito indesejado de água residual. O efeito visual é melhor representado na figura 35.



Figura 35: Tampas com isenção de gotículas de água.

5.1 Melhorias de 5S

Além da limpeza geral do equipamento, a criação do fluxograma e da lista de atividades que auxiliaram no entendimento do “o que fazer” e “como fazer”, outras melhorias de 5S acabaram surgindo no

ambiente de trabalho para atender às necessidades levantadas pela própria operação para realização das atividades propostas com maior rapidez e qualidade de execução. Dentre elas estão as demarcações para área de insumos e carrinhos de transporte próximo do equipamento, como na figura 36, o que antes não existia.



Figura 36: Demarcação da zona de insumos e carrinho de transporte.

A construção do armário de materias de limpeza e ferramentas para itens de manutenção básicas dos equipamentos, com lista de materiais (sinalizado pela seta amarela), pois como mostrado na figura 30 eram necessárias chaves e outros materias que precisariam estar sempre disponiveis para atender às novas demandas no *warmer*. Os locais de utilização e sinalização dos itens foram pintados nas paredes do armário, representados pelos círculos vermelhos, o que facilita a devolução para o local correto e mantém as ferramentas sempre organizadas, como indicado na figura 37.

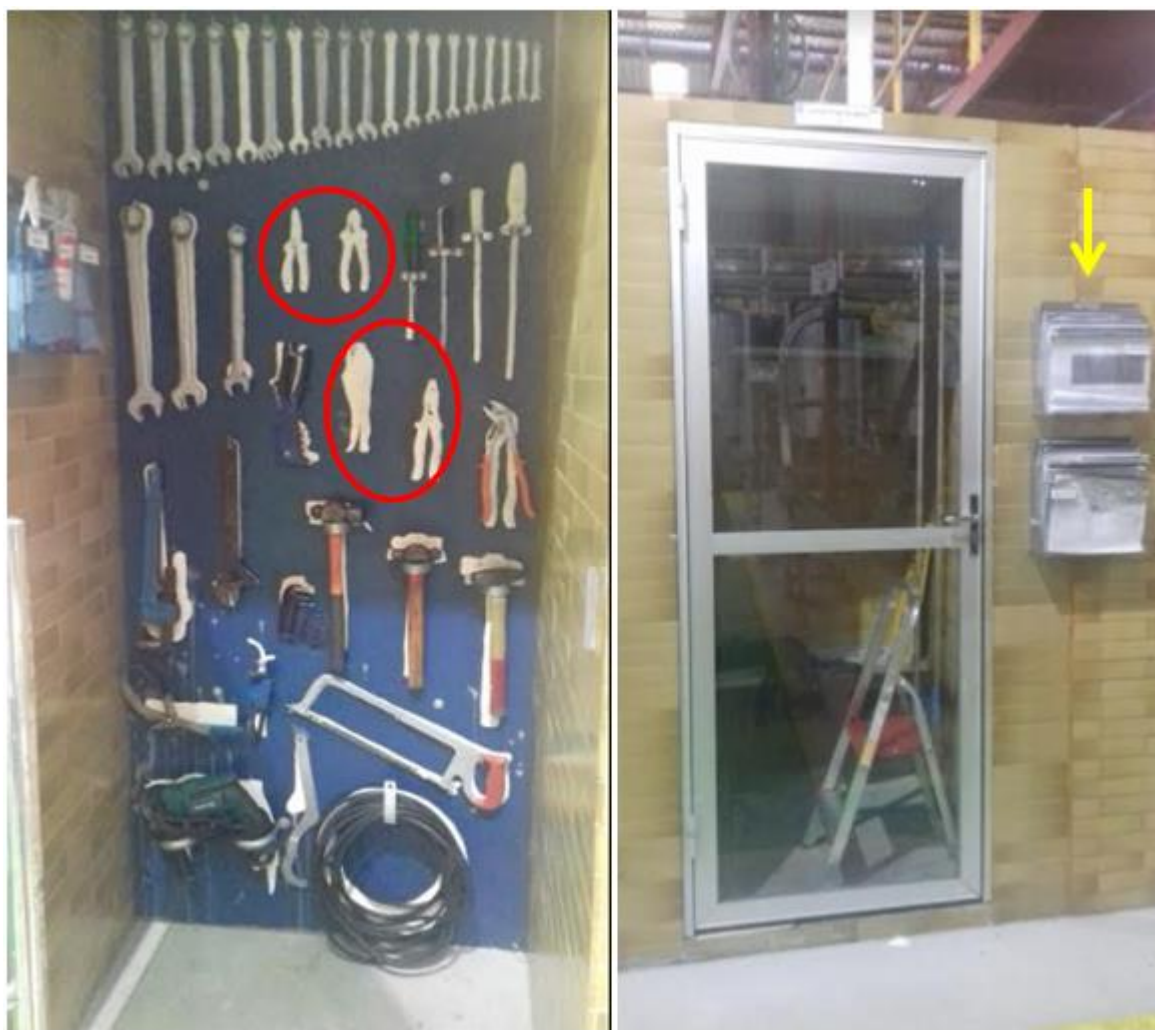


Figura 37: Armário de ferramentas e materiais de limpeza.

Organização da sala de lubrificação, realizando a segregação dos diferentes tipo utilizados na linha de produção, separados por faixa de cores e sinalizados por placas, conforme mostrado na figura 38.



Figura 38: Organização da sala de lubrificação.

Realizar essas melhorias foi algo muito positivo, pois mostrou o engajamento dos participantes do trabalho, principalmente da operação que precisaria manter as rotinas de limpeza e funcionamento do equipamento para que o resultado pudesse ser acompanhado e sustentado com o passar do tempo, levando a uma postura pró-ativa na realização das atividades propostas ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Com as ações do plano concluídas, o resultado final para devoluções de produtos por problemas de *blowout* após ações tratadas no mês de abril foi uma redução de quase 75% em relação ao mês seguinte, passando de 18.215 para 6.330 peças devolvidas (ver figura 40).

Esse número reduziu até 653 peças no mês de novembro, menor índice atingido, sendo nos últimos três meses (outubro, novembro e dezembro) as devoluções recebidas na unidade foram de vendas do interior, como da Cidade Santarém no Pará e neste caso, outros itens precisariam ser avaliados, como as condições de carregamento e transporte para entender seus impactos, que não foram o foco neste trabalho.

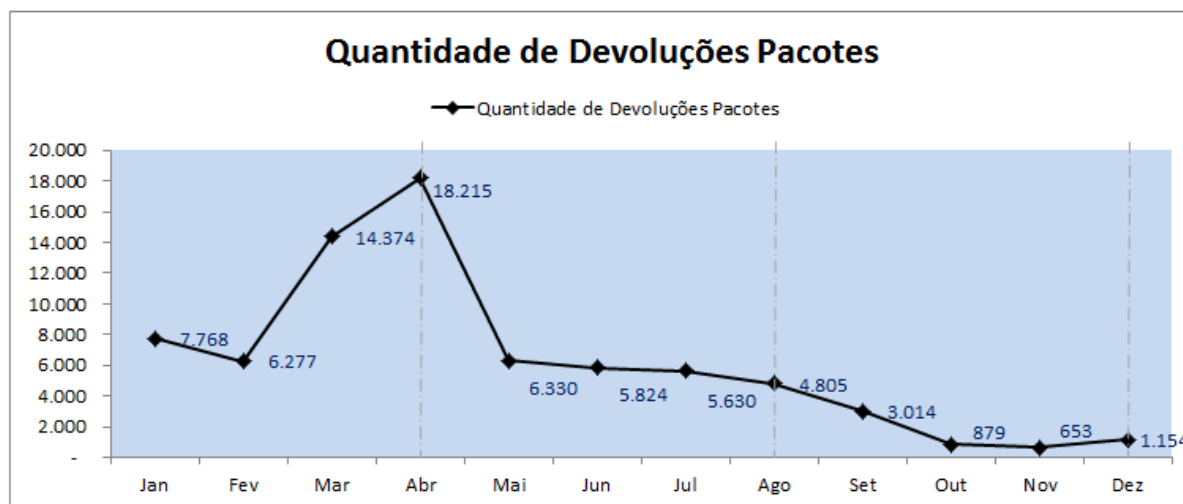


Figura 40: Gráfico de devolução por problemas de *blowout*.

Se olharmos em dimensões macro para o ano de 2016, a utilização de metodologia do LSS teve seu início no quadrimestre um (de janeiro a abril) e nesse período, o número de devoluções em peças, onde cada peça representa 12 unidades de produto, eram de 46635 e a partir do segundo quadrimestre, referente ao período de maio a agosto, quando se realizam os trabalhos, observou-se uma queda de quase 52% para na quantidade de devoluções e neste período, houve treinamentos na realização dos procedimentos para que não deixar se perder os aprendizados adquiridos sob forma de padrões, conforme a seção 4.6. Com essa consolidação, o último quadrimestre do ano teve apenas 5700 peças devolvidas, uma redução de 87% em relação ao Q1, redução muito maior do que o esperado no início do projeto que era de 50%.

Portanto, as ações traçadas por meio do DMAIC mostram-se eficientes no combate aos problemas de devolução de produtos por rompimento involuntário de tampas, minimizando impactos negativos à imagem do produto e melhorando o controle do processo de envase de refrigerantes.

6. CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões do trabalho, baseadas nos resultados obtidos e na experiência desenvolvida. São também apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

O objetivo principal do trabalho foi reduzir as devoluções de refrigerantes do mercado que apresentavam problemas de *blowout* utilizando a metodologia do *Lean Six Sigma* como base da investigação para encontrar as possíveis causas e a partir disso, executar ações de reversão.

Todas as etapas foram importantes para o desenvolvimento do trabalho, porque, mesmo com as análises iniciais de MEV e EDX dando diretrizes de que o principal impacto era uma contaminação por cloro no processo e, aparentemente se fosse controlada resultaria na eliminação do problema as investigações mostraram que ele era sim um dos fatores, mas não o determinante, era apenas favorecido pela falha na equalização das águas do *warmer*.

Do ponto de vista das causas encontradas para o *blowout*, as mais significativas foram o controle de pH da água do *warmer*, pois esta tinha ligação direta para no desencadeamento de corrosão de tampas por ação de cloreto, conforme evidenciado nos espectros de EDX e ampliações de imagem por MEV. Outro ponto relevante foi a redução no tempo de permanência de latas no interior do *warmer* em que, por muitas vezes, passavam de um dia a outro de produção parados no equipamento por falhas na organização de planejamento de escala de linha e por fim, a questão da falta de gerenciamento e aplicação do 5S, no qual a operação não executava e/ou não tinha conhecimento da importância da limpeza geral do equipamento, como a desobstrução dos esguichos, telas dos tanques e da periodicidade ideal para execução dessas atividades.

Desta forma, as melhorias implementadas foram executar a análise de pH na unidade produtora e realizar o ajuste de pH em tempo hábil, mantendo o controle sempre próximo ao pH neutro, que corresponde ao valor 7. Também importante, foi ajustar a escala de trabalho operacional para auxiliar na redução do tempo aos quais as latas ficavam expostas a ação da água do *warmer* e reduzir água residual nas tampas, realizando as manutenções no soprador e aumentando os pontos de secagem.

O 5S merece destaque, pois causou uma onda positiva de cobrança entre operação e liderança, levando a uma organização geral no posto de trabalho, com disponibilização de ferramentas e local adequado para guardar óleos e lubrificantes e assim, manter o senso de autodisciplina em relação ao que foi alcançado de resultado com o esforço mútuo.

Alguns processos novos foram padronizados, a exemplo de das ações de 5S com a lista de atividades no posto do *warmer* e do fluxograma para realizar a limpeza geral do equipamento.

Destacam-se enquanto treinamentos e qualificações dos profissionais envolvidos as ações de reciclagem dos técnicos na execução da análise cloro e também na análise de pH pela operação do equipamento, da retirada dos esguichos com orientações do time de segurança da unidade para minimizar os riscos da atividade que passou a ser executada na rotina da linha.

Após serem cumpridas todas as etapas propostas, foi possível verificar a validade do emprego do LSS na solução de problemas desta natureza. A diminuição obtida quanto ao *blowout* foi da ordem de 51%, se confrontado o primeiro quadrimestre do ano de 2016 com o segundo, ou seja passou de 46635 para 22589 peças devolvidas, e de 74% se for comparado o segundo quadrimestre com o último do ano, que teve um total de 5700 peças retornadas a unidade produtora, o que demonstra assertividade na execução das ações e melhora no controle de processo.

Mediante a constatação dos bons resultados obtidos com a metodologia LSS, novas ações de melhorias foram iniciadas e o projeto foi ampliado para outras linhas de produção de bebidas.

Propõe-se aqui enquanto sugestão de trabalhos futuros a investigação do fenômeno de diminuição do *blowout* para os produtos cujo consumo é muito distante da fábrica e que por isso enfrentam alterações fortes de exposição, temperatura e umidade decorrentes do transporte via fluvial e da armazenagem. Sugere-se também a expansão do uso da metodologia em outras frentes de problemas relacionado à qualidade do produto, como reclamações recebidas pelo serviço de atendimento ao consumidor (SAC) por bebidas alcoólicas e não alcoólicas com sabor alterado e/ou problemas de volume.

BIBLIOGRAFIA

- Abreu, F., Sabariz, A., Quadro, A., & Bueno, A. (Outubro de 2012). *Avaliação da resistência à corrosão da liga de alumínio 6101 após diferentes tratamentos térmicos de precipitação*. Acesso em 2016 de Outubro de 08, disponível em Scielo: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-11642012000300002
- Abreu, P. D. (2011). *Projeto Seis Sigma para melhoria do processo de análise de produtos defeituosos - um caso de estudo na indústria automóvel*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.
- Albliwi, S. A., Antony, J., & Lim, S. A. (2015). A systematic review of Lean Six Sigma for the manufacturing industry. *Business Process Management Journal*, 665 - 691.
- Arslankaya, S., & Atay, H. (2015). Maintenance management and lean manufacturing practices in a firm which produces dairy products. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 214 – 224.
- Arunagiri, P., & Gnanavelbabu, A. (2014). Identification of High Impact Lean Production Tools in Automobile Industries using Weighted Average Method. *Procedia Engineering*, 2072 – 2080.
- Asher. (9 de Novembro de 2007). Investigating the Mechanism of Transgranular Stress Corrosion. *Investigating the Mechanism of Transgranular Stress Corrosion Transmission Pipelines*. Atlanta, Georgia, Estados Unidos da América.
- BCME. (Janeiro de 2004). *Beverage Can Makers Europe Stress Corrosion - Technical Bulletin*. Acesso em 10 de Outubro de 2016, disponível em Secomak Solutions: <http://www.secomak-solutions.com/docs/default-document-library/bcme-can-handling-best-practice.pdf?sfvrsn=0>
- BDSA. (14 de Maio de 2001). *ENVIRONMENTAL STRESS CRACKING OF ALUMINIUM ALLOY BEVERAGE END SCORES*. Acesso em 06 de Outubro de 2016, disponível em British Soft Drinks: <http://www.britishsoftdrinks.com>
- Carvalho, J. D., Ferrete, L., Sousa, R., Medeiros, H., Magalhães, A., & Ferreira, J. (2015). Process Mapping Improvement: Extending Value Stream Maps with Waste Identification Diagrams. *FME Transactions*, 287-294.
- Carvalho, J. D., Moreira, F., Bragança, S., Costa, E., Alves, A., & Souza, R. (2014). Waste identification diagrams. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 37-41.
- Codaro, E. N. (2006). *ESTUDO DA CORROSÃO EM LIGAS DE ALUMÍNIO UTILIZADAS NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA*. Guaratinguetá, São Paulo, Brasil.

- Conceição, S. V., Rodrigues, I. A., Azevedo, A., Almeida, J., Ferreira, F., & Morais, A. (02 de Setembro de 2009). Development and implementation of a SMED methodology in contract manufacturing environments. *Scielo Brazil*, pp. 357-369.
- DeWeese, S., Ningileri, S., Das, S., & Green, J. (2008). Stress-Corrosion Cracking in Aluminum Beverage Can Ends-Issues, Observations, and Potential Solutions. *JOM*, 50-57.
- Dobrussskin, C. (2016). On the identification of contradictions using Cause Effect Chain Analysis. *Procedia CIRP* 39, 221 – 224.
- Edwards, M., & May, N. (2003). Metal cans. In: R. Coles, D. McDowell, & M. Kirwan, *Food Packaging Technology* (pp. 120-151). Londres: Blackwell Publishing Ltd.
- Erdogan, A., & Canatan, H. (2015). Literature Search Consisting of the Areas of Six Sigma's Usage. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 695 – 704.
- Ertürk, M., Tuerdi(MAİMAİTİAİLİ.TUERDİ), M., & Wujiabudula, A. (2016). The Effects of Six Sigma Approach on Business Performance: A Study of White Goods (home appliances) Sector in Turkey. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 444 – 452.
- Francisco, B. B., Brum , D. M., & Cassella , R. J. (14 de Abril de 2015). Determination of metals in soft drinks packed in different materials by ETAAS. *Food Chemistry*, pp. 488-494.
- Ferreira, G. J. (2013). *Análise e melhoria de um processo produtivo de uma empresa do ramo automóvel*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.
- Gosenheimer, C. (3 de 2012). *PROJECT PRIORITIZATION - A STRUCTURED APPROACH TO WORKING ON WHAT MATTERS MOST*. Acesso em 28 de 12 de 2016, disponível em Office Quality Improvement - University of Wisconsin-Madison: https://oqi.wisc.edu/resource/library/uploads/resources/Project_Prioritization_Guide_v_1.pdf
- Greinacher, S., Moser, E., Hermann, H., & Lanza, G. (2015). Simulation based assessment of lean and green strategies in manufacturing systems. *Procedia CIRP*, 86 – 91.
- Harp, D. L. (2002). *Current Technology of Chlorine Analysis for Water and Wastewater*. Acesso em 05 de Novembro de 2016, disponível em Hach: http://www.hach.com/cms-portals/hach_com/cms/documents/pdf/LIT/L7019-ChlorineAnalysis.pdf
- Hilton, R. J., & Soha, A. (2012). A conceptual model for the successful deployment of Lean Six Sigma. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 54 - 70.
- K.Srinivasan, Muthu, S., Devadasan, S., & Sugumaran, C. (2014). Enhancing effectiveness of Shell and Tube Heat Exchanger through Six Sigma DMAIC phases. *Procedia Engineering*, 2064 – 2071.

- K.Srinivasan, Muthu, S., Prasad, N., & Satheesh, G. (2014). Reduction of paint line defects in shock absorber through Six Sigma DMAIC phases. *Procedia Engineering*, 1755 – 1764.
- Lamprea, E. J., Carreño, Z. M., & Sánchez, P. M. (2014). Impact of 5S on productivity, quality, organizational climate and industrial. *Revista Chilena de Ingeniería*, 107-117.
- Litcanu, M., Prostean, O., Oros, C., & Mnerie, A. (2015). Brain-Writing Vs. Brainstorming Case Study For Power Engineering Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 387 – 390.
- Mehrabi, J. (2012). Application of six-sigma in educational quality management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 1358 – 1362.
- Mourtzis, D., Papathanasiou, P., & Fotia, S. (2016). Lean Rules Identification and Classification for Manufacturing Industry. *Procedia CIRP*, 198 – 203.
- Omogbai, O., & Salonitis, K. (2017). The implementation of 5S lean tool using system dynamics approach. *Procedia CIRP 60*, 380 – 385.
- Pepper, M., & Spedding, T. (2010). The evolution of lean Six Sigma. *International Journal of Quality &*, pp. 138-155.
- Powell, D., Strandhagen, J. O., Tommelein, I., Ballard, G., & Rossi, M. (2014). A New Set of Principles for Pursuing the Lean Ideal in Engineer-to-Order Manufacturers. *Procedia CIRP*, 571 – 576.
- Powell, T., & Sammut-Bonnici, T. (13 de Abril de 2015). *Pareto analysis*. Acesso em 28 de 12 de 2016, disponível em ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/272353122_Pareto_Analysis
- Prashar, A. (2014). Adoption of Six Sigma DMAIC to reduce cost of poor quality. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 103-126.
- Pugna, A., Negrea, R., & Miclea, S. (2016). Using Six Sigma Methodology to Improve the Assembly Process in an Automotive Company. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 308 – 316.
- R.Sundar, Balaji, A. N., & SatheeshKumar, R. (2014). A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques. *Procedia Engineering*, 1875 – 1885.
- Rahani, A., & al-Ashraf, M. (2012). Production Flow Analysis through Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process Case Study. *Procedia Engineering*, 1727-1734.
- Rahman, N. A., Sharif, S., & Esa, M. (2013). Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation. *Procedia Economics and Finance*, 174 – 180.
- Reosekar, R. S., & Pohekar, S. (2014). Six Sigma methodology: a structured review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 392 - 422.

- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2007). *Research Methods for Business Students*. Pearson Education Limited.
- Schreiner, M., Melcher, M., & Uhler, K. (2006). Scanning electron microscopy and energy dispersive analysis: applications in the field of cultural heritage. *Springer*, 737–747.
- Silva, M. V., Pereira, M., Codaro, E., & Acciari, H. (17 de Outubro de 2015). *CORROSÃO DO AÇO-CARBONO: UMA ABORDAGEM DO COTIDIANO NO ENSINO DE QUÍMICA*. Acesso em 08 de Outubro de 2016, disponível em Scielo: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-11642012000300002
- Simanová, L. (2015). Specific Proposal of the Application and Implementation Six Sigma in Selected Processes of the Furniture Manufacturing. *Procedia Economics and Finance*, 268 – 275.
- Soares, B. M., Anjos, C. A., Faria, T. B., & Dantas, S. T. (3 de Novembro de 2015). Characterization of Carbonated Beverages Associated to Corrosion. *PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE*, pp. 65-73.
- Stone, K. B. (2012). Four decades of lean: a systematic. *International Journal of Lean Six Sigma*, pp. 112-132.
- Tenera, A., & Pinto, L. (2014). A Lean Six Sigma (LSS) project management improvement model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 912 – 920.
- Urban, W. (2015). The Lean Management Maturity Self-Assessment Tool Based on Organizational Culture Diagnosis. *Procedia Social Behavioral Science*, 728 – 733.
- Vinodh, M. P. (2013). Lean Six Sigma in SMEs: an exploration through literature review. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 224 - 250.
- Wahab, A. N., Mukhtar, M., & Sulaiman, R. (2013). A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions. *Procedia Technology*, 1292 – 1298.
- Wilkinson, L. (2006). *The American Statistician*. Acesso em 04 de Novembro de 2016, disponível em JSTOR: http://www.jstor.org/stable/27643812?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste And Create Wealth In Your Corporation*. Londres: Simon and Schuster.
- Yadav, G., & Desai, T. (2016). Lean Six Sigma: a categorized review of the literature. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2 - 24.

Yang, T., Kuo, Y., Su, C.-T., & Hou, C.-L. (2015). Lean production system design for fishing net manufacturing using lean principles and simulation optimization. *Journal of Manufacturing Systems*, 66–73.

ANEXO I – VALORES DE ANÁLISES DE CLORO DIÁRIAS E MÉDIA MENSAL

Análises de Cloro (ppm)												
Dia	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	0,5	0,5	0,5	0,75	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7	0,5
2	0,5	0,5	0,5	0,6	0,75	0,7	0,6	0,75	0,5	0,7	0,8	0,6
3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,75	0,5	0,75	0,5	0,8	0,7	0,6
4	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6
5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,75	0,7	0,75	0,5
6	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,6
7	0,5	0,6	0,6	0,65	0,6	0,7	0,5	0,75	0,75	0,7	0,8	0,7
8	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,75	0,6	0,75	0,75	0,8	0,7	0,7
9	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,75	0,5	0,7	0,8	0,8
10	0,5	0,6	0,6	0,65	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8
11	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,75	0,8	0,8	0,8	0,7
12	0,6	0,6	0,75	0,5	0,6	0,5	0,5	0,75	0,6	0,8	0,8	0,6
13	0,6	0,5	0,75	0,5	0,75	0,7	0,6	0,75	0,6	0,7	0,8	0,7
14	0,6	0,5	0,6	0,5	0,75	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	0,7	0,5
15	0,6	0,6	0,6	0,75	0,5	0,7	0,5	0,75	0,65	0,7	0,75	0,8
16	0,5	0,5	0,6	0,75	0,6	0,5	0,5	0,75	0,7	0,8	0,7	0,8
17	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,8	0,7	0,75
18	0,5	0,6	0,6	0,65	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5
19	0,5	0,6	0,75	0,7	0,7	0,6	0,6	0,75	0,7	0,8	0,75	0,5
20	0,5	0,5	0,5	0,75	0,7	0,5	0,5	0,75	0,7	0,8	0,8	0,5
21	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,8	0,8	0,6
22	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,75	0,7	0,8	0,8	0,8
23	0,5	0,5	0,4	0,7	0,5	0,5	0,5	0,75	0,5	0,7	0,7	0,7
24	0,5	0,5	0,75	0,7	0,6	0,6	0,5	0,75	0,8	0,8	0,8	0,7
25	0,5	0,5	0,6	0,75	0,6	0,5	0,5	0,75	0,8	0,8	0,6	0,5
26	0,5	0,6	0,65	0,8	0,7	0,5	0,5	0,5	0,8	0,7	0,8	0,5
27	0,6	0,6	0,6	0,75	0,6	0,5	0,75	0,5	0,7	0,8	0,8	0,8
28	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,75	0,8	0,75	0,8	0,75
29	0,6	0,6	0,55	0,75	0,6	0,5	0,6	0,5	0,8	0,8	0,8	0,75
30	0,5	-	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,8	0,7	0,8	0,6
31	0,5	-	0,6	-	0,6	-	0,6	-	-	0,8	-	0,6
Média	0,54	0,56	0,60	0,64	0,62	0,59	0,55	0,65	0,66	0,76	0,76	0,65

ANEXO II – VALORES DE ANÁLISES DE PH DIÁRIAS E MÉDIA MENSAL

Análises de pH da Água do Warmer												
Dia	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1		3,30	6,90	3,30		7,00 7,12	7,17		7,30 7,39			6,88 7,15
2		4,60	6,80	5,00	7,10 7,04	7,10 6,98		7,19 7,40	7,05 7,00			
3		3,20	7,80	5,60	6,93 7,00	6,93 6,90		7,00 6,85	7,20	7,00		7,08
4		7,90	7,40	7,10	7,01 7,06	7,15 7,11	6,86 6,89	7,12		7,35	7,21	
5		6,40	7,60	8,80	6,98 6,99	7,04 7,09	6,88 7,15	7,15 7,23		7,19 7,26	7,02	7,05
6	3,90	5,50		6,30	6,99 7,04	6,94 6,88	7,21 7,30	7,11 7,13		7,14 7,25		7,12 7,17
7	4,50		4,20	5,90	7,00 7,03	7,02 7,07				6,90	6,97 7,33	6,95 7,3
8	7,80	2,90	6,10	6,10	7,01 7,05	7,14 7,15	7,27 7,00	6,97	7,15 7,23	7,10		7,18 7,42
9	3,50	6,80	5,60	7,50	6,97 6,91	7,06 7,16	7,01	6,91 6,84	7,00	7,00	7,17 7,28	7,01
10		6,80	6,60		6,94 7,02	7,09		7,10 7,33	7,35	7,28 7,24		
11	3,10	6,10	7,30		7,01 7,01					7,01 7,06		
12	8,10	5,70	7,20		7,01 7,06			7,27 7,30	6,95 6,81			
13	7,20	5,40			7,00 6,97	7,20 7,18	7,23 7,33	7,29 7,06	6,90 6,94	7,09 7,34		7,22 7,33
14	6,20		7,70		6,95 6,98	7,21 7,19	7,29		7,00 6,15	7,29 7,11	7,15 7,17	7,29 7,12
15	5,80	4,90	7,00		6,96 7,03	7,03 7,01	7,25 7,09	7,70 7,20	7,11 7,26		7,08	6,97 7,08
16	5,60	5,10	6,80		7,01 7,00	7,01 7,06	7,08	6,92 6,88				7,08 7,15
17		5,30	5,90		7,00 7,04	7,09 6,98	7,20	6,91 7,00	7,20	7,00	7,12	7,01
18	8,30	5,70	4,80		7,06 7,02	6,90 7,00		7,01 7,00		7,33		
19	7,90	5,50	7,00		7,01 6,99		7,06 7,09	7,06	7,33 7,24	7,39 7,01	7,01 7,22	7,22
20	7,95	5,70			6,94 6,97	7,06 7,18	7,11	7,24				6,94 7,15
21	6,70		2,00		6,97 6,90	7,22 7,24	7,15 7,19			7,25 7,31		7,40
22	6,00	3,30	7,60		7,07 7,04	7,08 7,09			7,30 7,17	7,16 7,00		
23	4,40	4,70	6,90		7,01 7,04	7,13 7,07			7,08 7,05			
24		4,20	6,00		7,04 7,08			7,08 7,10	6,99 7,43		6,78 6,91	
25	7,30	7,50	6,00		7,00 7,03		7,04 7,06	7,33 7,54		7,00 6,81		
26	7,10	7,50	6,90		7,01 7,05		7,00 7,12	7,48 7,13	7,09 7,10	6,89 7,30	7,25 7,45	6,89
27	6,60	7,50			6,89 6,88	6,93 6,90	7,34	7,09	7,24 7,28			7,14 7,25
28	7,60		5,70		7,00 7,02	7,00 7,23	7,36 7,14		7,15 7,20	7,28	7,21 7,26	
29	3,20	5,60	5,70		7,00 7,00	7,21 7,14	7,05 7,00	7,32 7,36	7,00	7,10 7,09	7,21 7,25	7,16
30	6,40		7,20		7,04 7,10	7,08 6,99	7,17 7,21	7,19	7,14		6,95 7,22	7,11 7,34
31			7,80		7,18 7,20			7,29 7,21		7,15 7,07		
Média	6,14	5,48	6,46	6,18	7,01	7,07	7,13	7,16	7,11	7,14	7,15	7,14